

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Fotovoltaické elektrárny a jejich vliv na  
distribuční síť**  
**Photovoltaic Power Plants and Their Influence  
on the Distribution Network**

**2017**

**Tomáš Urban**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Urban**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika  
Téma: Fotovoltaické elektrárny a jejich vliv na distribuční síť  
Photovoltaic Power Plants and Their Influence on the Distribution Network

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky fotovoltaických elektráren
2. Podmínky pro připojování FVE do distribuční sítě
3. Analýza výroby elektrické energie FVE
4. Analýza kvalitativních parametrů napětí FVE

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Murtinger P., Bernatovský J., Tomeš T.: Fotovoltaika, elektřina ze slunce, ERA, Brno, 2007
2. Mastný P., Drápela J., Mišák S., Macháček J., Ptáček M., Radil L., Bartošík T., Pavelka T.: Obnovitelné zdroje elektrické energie, ČVUT v Praze, 2011
3. Další literatura podle pokynu vedoucího bakalářské práce

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

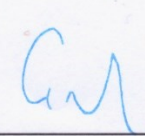
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Krejčí, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017

  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry

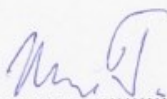


  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

**Prohlášení:**

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě 20. března 2017

  
.....  
Tomáš Urban**Poděkování:**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Petru Krejčímu, Ph.D. za cenné rady a připomínky při vypracování této práce.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou fotovoltaických elektráren. První část popisuje jejich historii, zařízení fotovoltaické elektrárny včetně principu solárních článků. Část této kapitoly je věnována i umístění panelů na střeše, měničům, a kabeláži pro DC rozvod.

Druhá část popisuje podmínky pro připojování do distribuční soustavy. Je zde popsán rozdíl mezi distribuční a přenosovou soustavou.

Třetí část je praktická, kde byla analyzována data výroby energie solární elektrárny. Byl k tomu použit Excel 2013.

Poslední část je také praktická, ve které se aplikují dosažené znalosti na zjištění skutečných stavů kvalitativních parametrů napájecího napětí v síti. Je zde provedena analýza dat měřených analyzátozem BK-ELCOM.

## **Klíčová slova**

Fotovoltaika, solární elektrárna, solární panel, sluneční záření, účinnost, distribuční síť, analýza dat, energie, napětí

## **Abstract**

This thesis deals with the problematics of photovoltaic power plants. The first part describes their history, photovoltaic power installations including the principle of solar cells. Part of this chapter is devoted to the placement of panels on the roof, inverters and cabling for DC distribution.

The second part describes the conditions for connecting to the grid. There is described a difference between distribution and transmission system.

The third part is practical, which analyzed data of energy production solar power. It was to use Excel 2013.

The last part is also practical, in which application of acquired knowledge on assignment of real states of qualitative parameters of supply voltage in network. There is an analysis of the data measured by the analyzer BK-ELCOM.

## **Keywords**

Photovoltaics, solar plant, solar panel, solar radiation, efficiency, distribution network, data analysis, energy, voltage

## Obsah

Úvod.....	10
1. Úvod do problematiky fotovoltaických elektráren.....	11
1.1. Vývoj fotovoltaiky .....	11
1.2. Části solární elektrárny.....	14
1.2.1. Solární články.....	15
1.2.2. Účinnost článků.....	16
1.2.3. Solární panely.....	18
1.2.4. Umístění a upevnění panelů .....	19
1.2.5. Měniče.....	21
1.2.6. Kabely pro DC rozvod .....	23
1.2.7. Měřiče vyrobené energie .....	24
1.3. Části autonomních solárních systémů .....	24
1.3.1. Akumulátory.....	24
1.3.2. Další záložní zdroje.....	26
2. Podmínky pro připojování FVE do distribuční sítě.....	27
2.1. Žádost o připojení.....	28
2.1.1. Posouzení žádosti o připojení.....	28
2.1.2. Studie připojitelnosti .....	28
2.1.3. Projektová dokumentace .....	29
2.2. Podmínky pro připojení.....	30
2.2.1. Připojení k síti .....	30
2.2.2. Zvýšení napětí .....	31
2.2.3. Nesymetrie napětí v sítích NN .....	31
2.2.4. Změny napětí při spínání.....	31
3. Analýza výroby elektrické energie FVE .....	32
3.1. Technický popis elektrárny .....	32
3.2. Měření dopadajícího slunečního záření.....	33
3.3. Teplota panelů.....	35
3.4. Vyrobená energie .....	37
3.5. Denní a hodinová výroba .....	39
4. Analýza kvalitativních parametrů napětí FVE .....	40
4.1. Popis přístroje a softwaru .....	40
4.2. Kvalita napětí .....	41
4.3. Frekvence .....	42
4.4. Velikost a odchylky napájecího napětí.....	43
4.5. Krátkodobé poklesy, zvýšení a přerušení napětí .....	44
4.6. Dlouhodobý flikr.....	45
4.7. Nesymetrie napětí.....	46
4.8. Úroveň napětí signálu HDO .....	46
4.9. Harmonická napětí .....	47
4.9.1. Celkový činitel harmonického zkreslení .....	48
4.10. Meziharmonické napětí .....	48

Závěr .....	49
Literatura .....	50

## Seznam použitých symbolů a zkratek

AC	Střídavý proud
ČEPS	Česká energetická přenosová soustava
ČR	Česká republika
DC	Stejnoseměrný proud
DS	Distribuční soustava
ERÚ	Energetický regulační úřad
FFT	Rychlá Fourierova transformace.
FV	Fotovoltaický
FVE	Fotovoltaická elektrárna
HDO	Hromadné dálkové ovládání
HW	Hardware
ISS	Mezinárodní kosmická stanice
NN	Nízké napětí
OM	Odběrné místo
PC	Osobní počítač
PDS	Provozovatel distribuční soustavy
PPDS	Pravidla provozování distribuční sítě
PPS	Provozovatel přenosové soustavy
VN	Vysoké napětí
$E$	(kWh, MWh) Energie
$I$	(A) Proud
$P_{LT}$	(-) Dlouhodobý flickr
$P_{ST}$	(-) Krátkodobý flickr
$THD_U$	(%) Celkový harmonický činitel zkreslení napájecího napětí
$U$	(V) Napětí
VA	Voltampér, jednotka zdánlivého výkonu
$W/m^2$	Watt na metr čtvereční, jednotka intenzity slunečního záření
$f$	(Hz) Frekvence
kW	Kilowatt, jednotka činného výkonu
kWp	Kilowatt-peak, jednotka nominálního výkonu panelů
s	Sekunda, jednotka času
$t$	(°C) Teplota
$\eta$	(%, –) Účinnost

## Seznam ilustrací

Obr. 1 Experimentální zařízení prof. Millikana („dílna ve vakuu“). [6].....	12
Obr. 2 Panely na ISS. [13] .....	13
Obr. 3 Obecné schéma FV zdroje pracujícího paralelně s DS. [14] .....	15
Obr. 4 Funkce FV článku. [13] .....	15
Obr. 5 Využitelné spektrum záření pro křemíkové články. [2].....	18
Obr. 6 Řez panelem. [2].....	19
Obr. 7 Dimenzování rozestupů mezi panely. [2] .....	20
Obr. 8 Montáž střešního háku. [4] .....	21
Obr. 9 Příklady zapojení invertorů a panelů. [2].....	23
Obr. 10 Solární kabel. [15] .....	23
Obr. 11 Akumulátor SOL12-200DG. [8].....	25
Obr. 12 Solární trakční kyselinový akumulátor SOL48/1000. [9].....	25
Obr. 13 Elektrizační soustava. [19].....	27
Obr. 14 Rozmístění FVE v areálu VŠB. [12] .....	32
Obr. 15 Připojení měničů do rozvaděče RP 1.....	33
Obr. 16 Měření ze dne 10. 7. 2015.....	34
Obr. 17 Měření ze dne 17. 1. 2015.....	35
Obr. 18 Naměřená maxima okamžitého osvitu.....	35
Obr. 19 Vliv teploty na charakteristiku panelu BT 3230T. [28].....	36
Obr. 20 Záznam okamžitých hodnot teploty panelu a účinnosti (10. 7. 2015). .....	36
Obr. 21 Porovnání teploty panelu během roku 2015. ....	37
Obr. 22 Celková vyrobená energie za jednotlivé měsíce roku 2015.....	38
Obr. 23 Hodinový diagram - únor 2015.....	39
Obr. 24 Energie vyrobená v jednotlivé dny (únor 2015). ....	39
Obr. 25 Měření kvalitativních parametrů napětí.....	40
Obr. 26 Průběh napětí na fázi $L_3$ (%). ....	44
Obr. 27 Průběh dlouhodobého flikru na fázi $L_2$ . ....	45
Obr. 28 Průběh $THDu$ (fáze $L_1$ ) .....	48



## Seznam tabulek

Tab. 1 Účinnost jednotlivých FV článků. [2].....	17
Tab. 2 Produkce energie (rok 2015).....	38
Tab. 3 Limity pro měření frekvence. ....	43
Tab. 4 Vyhodnocení frekvence. ....	43
Tab. 5 Limity pro vyhodnocení napětí.....	43
Tab. 6 Získané hodnoty napětí na jednotlivých fázích. ....	44
Tab. 7 Vyhodnocení mimořádných událostí. ....	44
Tab. 8 Hodnoty flikru. ....	45
Tab. 9 Vyhodnocení nesymetrie napětí.....	46
Tab. 10 Naměřená úroveň signálu HDO (1. 9. 2016). ....	46
Tab. 11 Vyhodnocení harmonických napětí do řádu 25. ....	47
Tab. 12 Vyhodnocení <i>THDu</i> . ....	48

## Úvod

Fotovoltaické elektrárny jsou v dnešní době stále významnějším zdrojem elektrické energie. Jedná se o ekologický zdroj, sluneční energii lze považovat za nevyčerpatelnou. Provoz a obsluha takového zařízení v porovnání s jadernou či tepelnou elektrárnou jsou zanedbatelné.

Cílem této bakalářské práce je nejen posoudit zpětné vlivy na distribuční síť, ale i obeznámit případné čtenáře s problematikou fotovoltaiky, připojením k síti a v neposlední řadě také analýzou výroby elektrárny. Celá práce se skládá ze dvou teoretických a dvou praktických částí.

První část pojednává o vzniku solární energie, historii a hlavně se v širším kontextu zabývá jednotlivými prvky elektrárny. Je zde objasněn princip fotovoltaického článku, funkce a umístění panelů, zapojení měničů a dalších částí. Je zde také ve stručnosti zmíněno o kabeláži stejnosměrné části elektrárny, což je v odborné literatuře bohužel dosti opomíjené téma.

Druhá část řeší podmínky, za jakých lze výrobu připojit do distribuční soustavy. Připojení FVE se téměř neliší od připojení jiných zdrojů, avšak případné odlišnosti jsou zde uvedeny. Obnovitelné zdroje mají svá specifika a nejinak je tomu i solárních elektráren. Podmínky jsou nejen technické, jako je třeba kvalita napětí, ale i administrativní.

Třetí část je již praktická. Zabývá se analýzou výroby reálné elektrárny. Jedná se o zpracování dat v souvislosti s intenzitou slunečního záření. Celoroční data byla naměřena Výzkumným energetickým centrem, umístěným v areálu VŠB Ostrava.

Poslední čtvrtá část je vyvrcholením celé práce. Pojednává o určování zpětných vlivů na distribuční síť. Je zde vyhodnoceno praktické měření pomocí speciálního analyzátoru kvality elektrické energie. Celkový komplex výroby solární energie se rozkládá v areálu VŠB na více budovách. Analýza kvalitativních parametrů byla provedena konkrétně v rozvaděči budovy G, kde je přípojně místo z panelů, instalovaných na střeše této budovy. Měření probíhalo v délce tří týdnů.

# 1. Úvod do problematiky fotovoltaických elektráren

Většinu elektřiny zatím vyrábíme v tepelných elektrárnách, které mají poměrně malou účinnost a využívají převážně fosilní paliva nebo uran jako zdroj energie. Přitom sluneční záření dopadající na Zemi je universálně dostupný a žádné škodlivé emise neprodukuje zdroj energie. Na plochu, kterou zabírá běžný rodinný dům, dopadne za rok ze slunce přibližně 100 MWh energie, na průměrnou zahradu pak přibližně 1 GWh. Přitom obvyklá roční spotřeba elektřiny v takovém domě je jen kolem 4 MWh a spotřeba energie na topení asi 20 až 30 MWh. Teoreticky je tedy nabídka energie ze slunce více než postačující. Právě ta universální dostupnost a možnost dosažení dobré účinnosti je největší výhodou přímého využití sluneční energie.

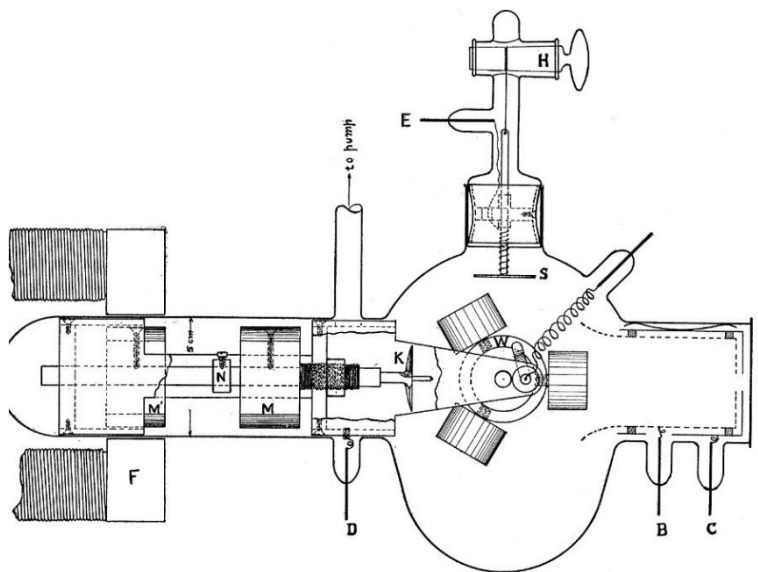
Primárním zdrojem energie ve Slunci je jaderná fúze, tj. spojování jader vodíku za vzniku helia (a posléze dalších těžších prvků). Ve Slunci se každou sekundu přemění 600 miliónů tun vodíku na helium. Teplota povrchu se pohybuje přibližně okolo 5900 K. Z povrchu je energie přenášena na Zemi ve formě elektromagnetického záření. Na hranici zemské atmosféry je hodnota intenzity slunečního záření okolo  $1361 \text{ W/m}^2$ . Tato hodnota se nazývá tzv. solární konstanta. [1]

## 1.1. Vývoj fotovoltaiky

Historie fotovoltaiky začíná objevením fotoelektrického jevu. Poznatkem, že proud mezi kovovými elektrodami ponořenými v roztoku (kapalině) se mění v závislosti na intenzitě osvětlení, prezentoval francouzské Akademii věd na jejím zasedání v pondělí 29. července 1839 Alexandre Edmond Becquerel. Následně o něm vydal článek v *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences* s názvem *Mémoire sur les effets électriques produits sous l'influence des rayons solaires*. Jako objevitel bývá někdy uváděn jeho otec Antoine César Becquerel. Důvodem může být skutečnost, že Edmondu Becquerelovi bylo v době zveřejnění objevu teprve 20 let a dosud pracoval v laboratoři svého otce.

V roce 1887 Heinrich Rudolf Hertz objevil další závislost elektřiny a světla, a sice že elektrický výboj ve vzduchu (plynu) vznikne snadněji mezi elektrodami, na které dopadá ultrafialové záření. Svá pozorování publikoval v práci *Ueber den Einfluss des ultravioletten Lichtes auf die elektrische Entladung* [3]. Popsané jevy se však nedařilo vysvětlit na základě vlnové teorie světla (elektromagnetického záření).

Fyzikální princip fotoelektrického jevu teoreticky popsal Albert Einstein v práci *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt* z roku 1905 za předpokladu, že na elektromagnetické pole aplikoval kvantovou teorii, kterou Max Karl Ernst Ludwig Planck publikoval na přelomu století. Z Einsteinova vysvětlení vyplývá, že energie uvolněného elektronu závisí pouze na frekvenci záření (energii fotonů) a počet elektronů na intenzitě záření (počtu fotonů). Právě za práce pro rozvoj teoretické fyziky, zejména objev zákonitostí fotoelektrického jevu obdržel Einstein v roce 1921 Nobelovu cenu za fyziku.



Obr. 1 Experimentální zařízení prof. Millikana („dílna ve vakuu“). [6]

Einsteinovu hypotézu experimentálně potvrdil Robert Andrews Millikan v článku A Direct Photoelectric Determination of Planck's "h" z roku 1916. Paradoxní je, že původním záměrem Millikanova experimentu bylo s největší pravděpodobností vyvrátit Einsteinovu hypotézu, kterou v článku Einstein's Photoelectric Equation and Contact Electromotive Force publikovaném o několik měsíců dříve označil za nepodloženou. Pomocí Einsteinovy rovnice popisující fotoelektrický jev, do které dosadil hodnotu elementárního elektrického náboje, který sám změřil nejdříve v roce 1909 a potom s vysokou přesností v roce 1912, určil na tu dobu velmi přesně hodnotu Planckovy konstanty. Za výzkum elementárního elektrického náboje a fotoelektrického jevu obdržel v roce 1923 Nobelovu cenu za fyziku.

Všechny uvedené experimenty a teorie se vztahují k fotoelektrickému jevu vnějšímu, neboli k fotoemisi, kdy se elektrony z vodivostního pásu z ozařovaného kovu uvolňují do okolí (vakua, plynu, nebo elektrolytu). Kromě toho je možno rozlišit další dvě formy fotoelektrického jevu, kdy elektrony zůstávají v materiálu – fotovoltaiický jev, který nás zajímá v tomto článku, a fotoionizaci, ke které dochází při ozáření elektromagnetickým zářením o dostatečně vysoké frekvenci.

Fotovoltaiický jev vzniká v polovodičích, když foton s dostatečnou energií uvolní elektron z valenčního pásu do pásu vodivostního. Ve valenčním pásu zůstane „chybějící elektron“, tzv. díra, kterou lze považovat za elementární kladný náboj (díra se pohybuje tak, že se do ní přemístí valenční elektron sousedního atomu, čímž se díra přesune na původní místo tohoto elektronu). Zjednodušeně lze prohlásit, že dopadem fotonu se vytvoří pár pohyblivých nábojů elektron-díra. Tyto náboje se difúzí nebo působením elektrického pole v okolí PN přechodu pohybují ve směru k elektrodě se stejnou polaritou – elektron k záporné a díra ke kladné. Při propojení elektrod vnějším obvodem putují elektrony k opačné elektrodě, kde rekombinují s děrami – vnějším obvodem prochází elektrický proud.

Fotovoltaiický jev poprvé pozorovali William Grylls Adams a jeho žák Richard Evans Day v roce 1876 na PN přechodu vytvořeném mezi selenem a platinou. Na rozdíl od fotoelektrického jevu pozorovaného Becquerelem, kdy se proud elektrického článku měnil působením světla, v tomto případě vznikalo elektrické napětí (a proud) bez působení vnějšího elektrického pole pouze působením

světla. Adams dokonce vyrobil model koncentračního fotovoltaického systému, který předvedl před mnoha významnými osobnostmi v Anglii, nedotáhl jej však k praktické realizaci.

Další, kdo vyrobil fotovoltaické články na bázi selenu, byl v roce 1883 americký vynálezce Charles Fritts, účinnost však byla nižší než 1 %. Přesto věřil, že by mohly konkurovat Edisonovým uhelným elektrárnám.

V roce 1940 Russell Shoemaker Ohl bezděčně vyrobil PN přechod na křemíku a zjistil, že při osvětlení vyrábí proud. Svůj objev si nechal patentovat. Účinnost se pohybovala kolem 1 %.

První fotovoltaický článek, který byl použitelný pro výrobu elektřiny, byl vyroben v roce 1954 v Bellových laboratořích. Jednalo se o článek z monokrystalického křemíku, který měl účinnost kolem 6 %.

Jako zdroj elektřiny se začaly fotovoltaické články používat již od roku 1958 na kosmických družicích, kde je fotovoltaika k napájení spotřebičů používána dodnes. S několika výjimkami (např. vojenské satelity na nízkých drahách nebo sondy mířící do vzdálených oblastí sluneční soustavy) se jedná o naprosto převažující zdroj elektřiny pro zařízení, u nichž se předpokládá dlouhodobý provoz. Celkový výkon fotovoltaických panelů na Mezinárodní kosmické stanici (ISS) je 110 kWp.



*Obr. 2 Panely na ISS. [13]*

Vedle původních článků z monokrystalického křemíku byla v průběhu let vyvinuta celá řada nových typů fotovoltaických článků, a to jak krystalických, tak tenkovrstvých. Křemík je však stále ve fotovoltaice dominantní materiál.

Ceny prvních fotovoltaických článků se v 50. letech pohybovaly v tisících dolarů za watt jmenovitého výkonu a spotřeba energie na jejich výrobu přesahovala množství elektřiny, které tyto články vyrobily za celou dobu své životnosti. Důvodem byla kromě nízké účinnosti především skutečnost, že při výrobě fotovoltaických článků byly používány v podstatě stejné technologicky i energeticky náročné postupy jako při výrobě mikročipů.

V pozemských podmínkách byly nejdříve fotovoltaické panely používány k napájení menších spotřebičů v odlehlých lokalitách nebo například na bójích, kde by bylo extrémně náročné nebo zcela

nemožné je připojit k elektrizační soustavě. Hlavní výhodou fotovoltaických panelů oproti jiným zdrojům elektřiny bylo, že nepotřebují palivo ani obsluhu. Jednalo se obvykle o ostrovní systémy s akumulátory.

Větší zájem o fotovoltaiku jako zdroj energie v pozemských podmínkách byl, stejně jako u ostatních obnovitelných zdrojů, vyvolán ropnými krizemi v 70. letech minulého století. Od té doby probíhá intenzivní výzkum a vývoj, v jehož důsledku roste účinnost, klesá cena a zvyšuje se životnost fotovoltaických článků a panelů. Zároveň se snížila energetická náročnost výroby natolik, že panel za dobu svého života vyprodukuje mnohonásobně více energie, než se spotřebovalo na jeho výrobu.

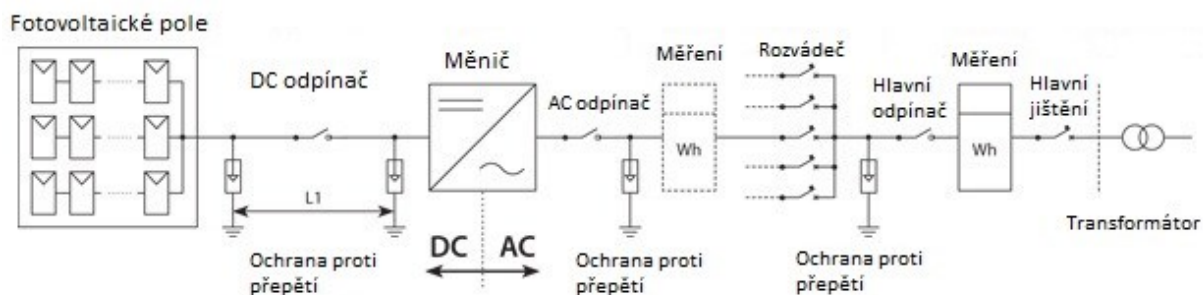
Nejstarší (dosud provozované) větší pozemní instalace pocházejí z počátku 80. let. V té době ještě zcela dominovaly články z krystalického křemíku, u kterých je proto v reálných podmínkách ověřena životnost minimálně 30 let. Výrobci na základě zkušeností garantují, že výkon panelu se po 25 letech sníží nejvýše o 20 % (výsledky zmíněných instalací jsou však podstatně lepší). U jiných typů panelů je životnost odhadována na základě zrychlených zkoušek.

Skutečného rozšíření se však fotovoltaika dočkala teprve se zavedením různých systémů podpory. Prvním byl dotační program v Japonsku následovaný systémem výkupních cen v Německu. Obdobné systémy byly následně zavedeny v řadě dalších zemí. [5]

## 1.2. Části solární elektrárny

Na obecném schématu je znázorněn příklad provedení fotovoltaického zdroje pracujícího paralelně s distribuční sítí. Zdrojem elektrické energie je fotovoltaické pole, které je pomocí vedení spojeno s měničem. V případě většího počtu paralelně řazených stringů je třeba zajistit ochranu fotovoltaických panelů proti zpětným proudům a nadproudovou ochranu kabelů fotovoltaického pole při poruše. Současně je zde řešena ochrana proti přepětím. Jedná-li se o delší vedení mezi fotovoltaickým polem a měničem, je vhodné použít svodiče přepětí jak u měniče, tak v blízkosti fotovoltaických polí. K zajištění údržby měniče je nutné splnit požadavek na jeho možné odpojení od AC i DC strany, proto jsou u měniče instalovány DC odpínač a AC odpínač. V případě, že je funkčně zajištěno, aby vypnutí (zapnutí) DC strany probíhalo vždy bez zátěže, tedy že AC strana bude vypínána dříve a zapínána následně, pak lze na místě DC strany použít i odpojovač.

Za AC odpínačem je instalován svodič přepětí, který je doporučen především následuje-li dlouhé vedení. Dále může být zapojeno místní měření elektrické energie vyrobené fotovoltaickým zdrojem, které je následně připojeno přes jistící přístroj k rozváděči. V případě fotovoltaického zdroje velkého výkonu jsou do rozváděče připojeny přes jistící přístroje jednotlivé paralelní větve fotovoltaického zdroje. Rozváděč a následný elektrický rozvod je chráněn ze strany připojení k distribuční síti svodičem přepětí. Měření dodané a spotřebované energie (výroba a spotřeba v místě - zelený bonus) nebo jen dodané energie (pouze výroba bez spotřeby) předchází hlavní odpínač rozváděče. Rozváděč, odpínač a vedení směrem k distribučnímu rozvodu je chráněno proti přetížení a zkratu hlavním jistícím přístrojem.



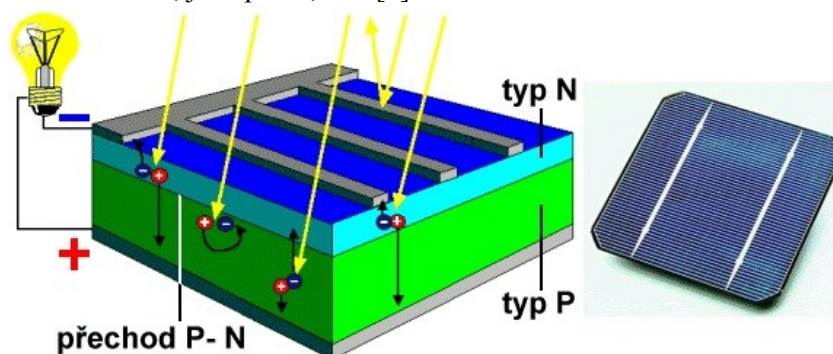
Obr. 3 Obecné schéma FV zdroje pracujícího paralelně s DS. [14]

V případě většího počtu paralelně řazených stringů ve fotovoltaickém poli je nutné zajistit ochranu fotovoltaických panelů proti zpětným proudům a nadproudovou ochranu kabelů. Jištění stringů je občas opomíjeno, a to v souvislosti s tím, že zkratový proud fotovoltaického panelu je jen o 10 až 20% větší než jeho jmenovitý provozní proud. V případě aplikace s počtem stringů maximálně 3 nehrozí poškození panelu poruchovým zpětným proudem vyvolaným zkratem. Riziko tepelného přetížení kabelů vlivem zkratu lze v tomto případě řešit jejich vhodným předimenzováním. Při větším počtu paralelních stringů je nutno vzít v potaz hodnotu možného zpětného proudu s ohledem na maximální dovolený zpětný proud fotovoltaického panelu. [14]

### 1.2.1. Solární článek

Pokud chceme přímo využít sluneční energii na elektřinu, potřebujeme k tomu vhodné zařízení, které tuto přeměnu zvládne. V dnešní době je nejběžnějším takovým zařízením fotovoltaický článek. Výroba elektřiny ze slunečního záření není ale jen záležitost technická, významnou roli zde hrají i otázky ekonomické. Zařízení musí být natolik levné, účinné a spolehlivé, aby cena získané elektřiny byla srovnatelná s cenou elektřiny vyrobené ve velkých elektrárnách.

Vlastní FV článek je v podstatě velkoplošná dioda. Je vytvořen tak, že v tenkém plátku křemíku je v malé hloubce pod povrchem vytvořen PN přechod opatřený z obou stran vhodnými kovovými kontakty. Když na něj dopadá sluneční záření, generují se volné elektrony a díry. Elektrické pole přechodu je oddělí a pošle na opačné strany; elektrony do vrstvy typu N, která se tak stane záporným pólem, a díry do vrstvy typu P, která tvoří kladný pól. Napětí článku je dáno použitým polovodičem; v případě křemíku je to přibližně 0,6 V a při zatížení ještě trochu klesá. Udává se, že při optimálním proudu, kdy je výkon maximální, je napětí 0,5 V. [1]



Obr. 4 Funkce FV článku. [13]

Aby bylo možné ze solárního článku odebírat proud, jsou na přední a zadní straně umístěny kovové elektrody jako kontakty. Na zadní straně je to většinou provedeno jako celoplošná elektroda. Naproti tomu přední strana musí co nejlépe propouštět světlo. Kontakty se zde většinou skládají z tenké mřížky, která zakrývá jen velmi malou část povrchu článku. Umístění elektrod se většinou provádí sítotiskovou metodou. Na povrchu článku by se světlo mělo co nejméně odrážet, aby se co nejvíce záření absorbovalo. Proto se na povrch článku umísťuje antireflexní vrstva, která dává šedým křemíkovým článkům jejich typickou černou barvu u monokrystalických článků, popřípadě modrou barvu u polykrystalických článků. [4]

Solární články můžeme rozdělit podle vývoje použitých technologií na 3 až 4 generace. První generací se nazývají články využívající jako základ křemíkové desky. Jsou dnes nejrozšířenější technologií na trhu a dosahují poměrně vysoké účinnosti přeměny. Přestože je jejich výroba relativně drahá (a to zejména z důvodu drahého vstupního materiálu – krystalického křemíku), budou ještě v několika dalších letech na trhu dominovat.

Impulsem pro rozvoj článků druhé generace byla především snaha o snížení výrobních nákladů úsporou drahého základního materiálu – křemíku. Články druhé generace se vyznačují 100 krát až 1000 krát tenčí aktivní absorbující polovodičovou vrstvou (thin-film) a jejichmi představiteli jsou např. články z amorfního a mikrokřemíkového křemíku (případně silicon-germania, či silicon-karbidu, ale také tzv. směsné polovodiče z materiálů jako Cu ,In ,Ga ,S ,Se, označované obecně jako CIS struktury). S úsporou materiálu došlo v porovnání s články první generace k poklesu výrobních nákladů (a tedy za předpokladu velkosériové výroby i k poklesu ceny), nicméně dosahovaná účinnost je obvykle nižší. Nespornou výhodou tenkovrstvých článků je možnost volby substrátu (na něž se tenkovrstvé struktury deponují) a v případě použití flexibilních materiálů (organické, kovové či textilní fólie) i značně širší aplikační sféra. Komerčně se začaly články druhé generace prodávat v polovině osmdesátých let.

Pokus o „fotovoltaickou revoluci“ představují solární články třetí generace. Zde je hlavním cílem nejen snaha o maximalizaci počtu absorbovaných fotonů a následně generovaných párů elektron – díra („proudový“ zisk), ale i maximalizace využití energie dopadajících fotonů („napěťový“ zisk fotovoltaických článků). Mezi dobře fungující články třetí generace patří články s vícevrstvou strukturou (dvojvrstvé – tzv. tandemy a trojvrstvé, z nichž každá sub-struktura absorbuje určitou část spektra a maximalizuje se tak energetická využitelnost fotonů. Příkladem tandemového solárního článku je struktura skládající se z přechodu amorfního křemíku a přechodu mikrokřemíkového křemíku. [3]

## **1.2.2. Účinnost článků**

Výchozím materiálem pro výrobu fotovoltaických článků z krystalického křemíku jsou křemíkové destičky čtvercového tvaru o rozměrech až 200x200 mm. Počátek výroby FV článků byl spojen pouze s monokrystalickým křemíkem. Potřeba snížení ceny vstupního materiálu vedla v sedmdesátých letech k vývoji multikřemíkového (polykrystalického) křemíku. Tato technologie přispěla k úsporám materiálu a snížení investičních nákladů, na druhé straně náhodná orientace krystalických zrn neumožňuje texturaci povrchu alkalickým leptáním a hranice zrn zvyšují ztráty rekombinací. Vývojem technologie se podařilo značně přiblížit účinnost článků z multikřemíkového křemíku účinnosti článků z křemíku monokrystalického. Účinnosti jednotlivých typů fotovoltaických článků jsou v tabulce níže.



Tab. 1 Účinnost jednotlivých FV článků. [2]

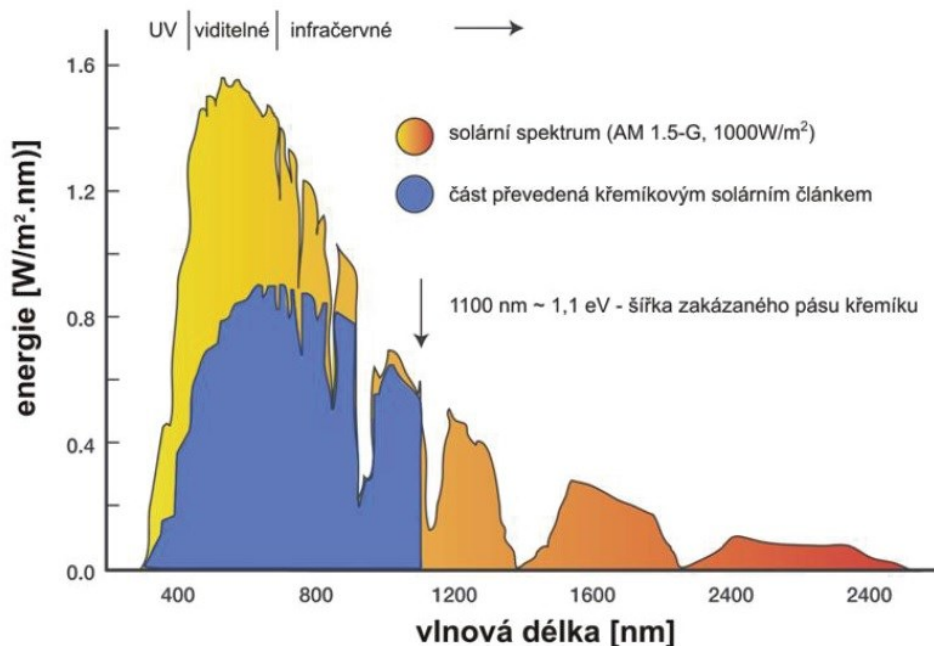
Typ solárního článku	Typická efektivita za běžných podmínek (%)	Maximální naměřená efektivita článku za běžných podmínek (%)	Maximální naměřená hodnota článku v laboratoři (%)
<b>Monokrystalický křemík</b>	12 - 16	22	25
<b>Multikrystalický křemík</b>	11 - 14	16	20
<b>Amorfní křemík</b>	5 - 7	10	13
<b>Telurid kademnatý</b>	10	12	16

S křemíku se vyrábí většina (přes 90 %) komerčně dostupných FV článků. Souvisí to do jisté míry s tím, že se z něj dělá většina polovodičových součástek a technologie výroby křemíku je dobře zvládnutá. Poměrně vysoká cena tohoto materiálu je dána především požadavkem na velmi vysokou čistotu materiálu.

Postup výroby monokrystalických článků je poměrně energeticky i technicky náročný. Jednou z možností, jak zlevnit výrobu, je rovnou táhnout z taveniny tenký monokrystalický pásek, který se pak dá rozřezat na solární články mnohem snadněji a ze stejného množství křemíku se dá vyrobit dvojnásobná plocha FV článků. Účinnost tohoto typu článků je však o něco nižší než u článků nařezaných z velkých ingotů monokrystalického křemíku.

Nejběžnější jsou v dnešní době články polykrystalické. Vyrábějí se odléváním čistého křemíku do vhodných forem a řezáním vzniklých ingotů na tenké plátky. Odlévání je podstatně jednodušší metoda než tažení monokrystalu a také lze připravit bloky se čtvercovým nebo obdélníkovým průřezem. Takto vyrobené články mají trochu horší elektrické vlastnosti (nižší proud a účinnost). Zásadní výhodou je ale to, že výchozí surovina je levnější a lze je vyrábět ve větších rozměrech. [1]

Vzhledem k šířce zakázaného pásu je u křemíku možno dosáhnout velmi vysoké účinnosti generace volných nosičů dopadajícím slunečním zářením. Zároveň u křemíku, jako základního materiálu pro mikroelektroniku, se podařilo velmi dobře zvládnout všechny technologické operace potřebné k vytváření struktur. Využitelné spektrum slunečního záření křemíkovým článkem je na obrázku (Obr. 5). [2]

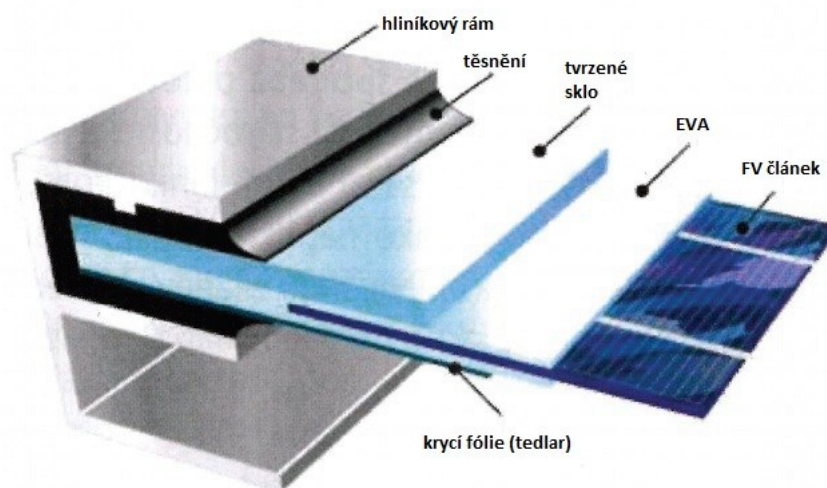


Obr. 5 Využitelné spektrum záření pro křemíkové články. [2]

Amorfní křemík má vysokou absorpci v oblasti modré, zelené a žluté části spektra, mikrokrytalický křemík pak dobře absorbuje i v oblasti červené a infračervené. Mikrokrytalický křemík může být nahrazen i křemíkem s germaniem a podle zvoleného poměru obou materiálů se dají upravovat jejich optické (i elektrické) vlastnosti. Tohoto materiálu se využívá komerčně právě pro trojvrstvé články, kde dva spodní články jsou vyrobeny s různou koncentrací křemíku a germania. Základní podmínkou pro dobrou funkci vícevrstevných článků je, aby každý z článků generoval stejný proud. V opačném případě nejhorší z článků limituje dosažitelnou účinnost. Výsledné napětí je pak dané součtem obou (případně všech) článků. [3]

### 1.2.3. Solární panely

Příklad konstrukce fotovoltaického modulu z krystalického křemíku je na obrázku níže. Fotovoltaické články se vkládají do etylvinylacetátové fólie (EVA). Přední stranu článku tvoří vysoce průhledné, speciálně tvrzené sklo, aby byly články chráněny před vlhkostí, větrem, krupobitím (do průměru 25 mm) a dalšími povětrnostními vlivy. Současně má sklo propouštět na článek co největší množství slunečního záření. Zadní strana je uzavřena vícevrstvou plastovou fólií s vysokou pevností nebo další skleněnou vrstvou. Moduly jsou opatřeny hliníkovým rámem pro uchycení k nosným konstrukcím a na zadní stěně jsou opatřeny svorkovnicí s kabelovými vývody a překlenovacími diodami.



Obr. 6 Řez panelem. [2]

Ve většině standartních modulů je zapojeno více článků do série (větve s 36 nebo 72 články), proto jsou solární moduly velmi citlivé na částečné zastínění. Jsou-li sériově zapojeny rozdílně ozářené moduly, dává celá větev modulů takový proud jako nejméně osvětlený modul. Je-li například jediný článek zastíněný listem, tento článek nevyrábí žádný proud. Ostatní plně osvětlené články větve jsou nadále aktivní a celý proud modulu prochází neosvětleným článkem, ve kterém se energie přemění na teplo. V nejhorším případě tam vznikne horký bod (Hot Spot), který může roztavit materiál článku a modul zničit. Aby k tomu nedošlo, používají se obtokové (bypass) diody, které vedou proud mimo neaktivní článek. Jedna obtoková dioda obvykle přemostí 18 až 20 solárních článků. Například moduly s 36 články mají dvě obtokové diody. Časté jsou nyní také moduly s 54 až 60 články a třemi obtokovými diodami. Obtokové diody tedy chrání před poškozením a současně snižují ztráty výnosu způsobené zastíněním. Zastínění se projevuje jako silně snížené ozáření, které vede ke snížení proudu. Když stín komínu, vikýře nebo antény dopadne na článek v modulu, zastíněný článek se stane spotřebičem a jako nejslabší článek omezí proud v celém sériovém zapojení. Bez diody by byly zataženy do problému všechny články, ačkoli nejsou zastíněním postiženy. V oblastech bohatých na sníh nebo při vodorovném zastínění, které nastává např. u řad standartních modulů na plochých střechách, lze vodorovným uspořádáním standartních modulů snížit ztráty asi na polovinu. Při zastínění přemostí obtoková dioda jen dvě řady článků a elektricky postiženy nejsou všechny řady článků, jak tomu je u svislého uspořádání v modulech.

#### 1.2.4. Umístění a upevnění panelů

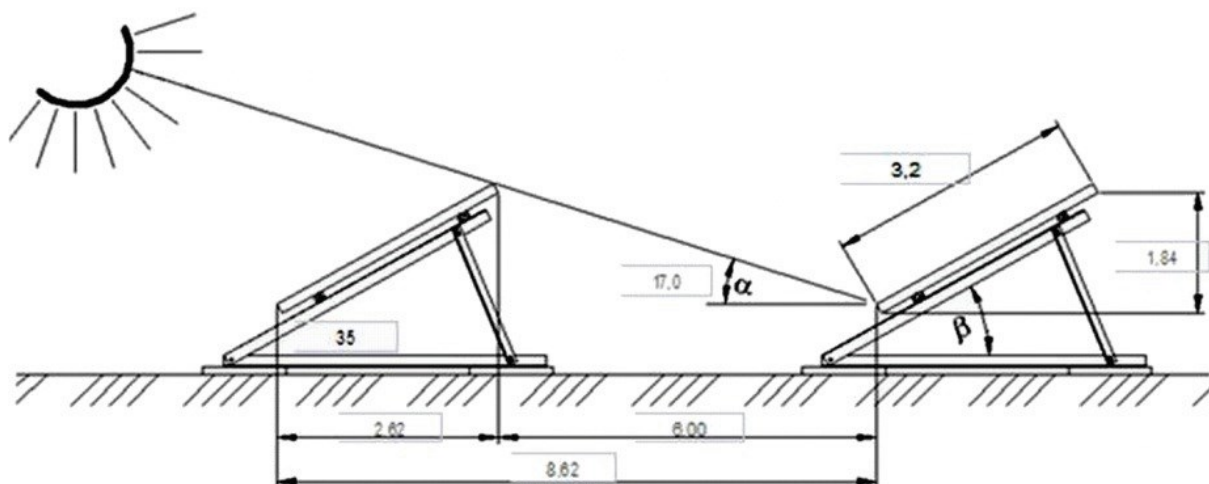
Při návrhu fotovoltaické elektrárny je důležitá správná orientace fotovoltaických panelů. Pro maximální využití energie slunečního záření je ideální orientace panelů směrem k jihu. Odklon panelů o několik stupňů směrem na jihozápad nebo na jihovýchod má pouze minimální vliv na celkovou vyrobenou energii. Obecně se uvádí, že při změně orientace do 20° od jižního směru, je snížení výkonu elektrárny do 5 %. V případě orientace panelů směrem na západ nebo východ je pokles výroby výraznější, a to až 25 %. Ideální sklon pevně instalovaných panelů v našich zeměpisných šířkách je okolo 33°. Jde o kompromis mezi výtěžností elektrárny při Slunci nízko nad horizontem

(zimní období) a vysoko na obloze (letní období). I zde platí, že rozdíl v instalaci mírně odlišné od optimální polohy má pouze malý negativní vliv na celkovou energetickou výťažnost. Při instalaci v rozmezí 10°- 60° je pokles výkonu do 10 %. Vyšší pokles výkonu bude při osazení panelů svisle (např. na fasádu), a to cca 25 až 30 %. Uvedené parametry platí pro panely vyrobené z krystalického křemíku.

Panely amorfnní mají obecně nižší účinnost, na druhé straně nejsou tak citlivé na potřebu přímého slunečního záření a např. při instalaci na svislou stěnu mohou při stejné ploše dodávat obdobný výkon jako polykrystalické nebo monokrystalické panely.

Teoretické množství energie dopadající na osluněnou plochu za den je závislé na sklonu kolektoru a součiniteli znečištění. Optimální úhel pro maximální využití slunečního záření se v průběhu roku mění podle období. V letním období je ideální sklon 30° - 45° a v zimním 60°- 90°.

Při stavbě fotovoltaické elektrárny na volném prostranství nebo na ploché střeše je velmi důležité stanovit optimální rozestupy mezi jednotlivými řadami panelů. Tyto rozestupy se obvykle určují pro nejhorší možný případ, což je situace, kdy je Slunce nejnižší nad obzorem. Na našem území dopadají sluneční paprsky v zimním období na zemský povrch pod úhlem cca  $\alpha = 17^\circ$ . Na obrázku je vidět potřebné rozmístění panelů právě při uvedených podmínkách.



Obr. 7 Dimenzování rozestupů mezi panely. [2]

Nezanedbatelnou částí FVE je bezesporu nosná konstrukce pro panely. Konstrukční systémy se dají rozdělit podle typu instalace na:

#### - Konstrukce pro sedlové střechy

Vhodná pro malé instalace na rodinné domy se sedlovou střechou se sklonem přibližně 35° a orientací k jihu nebo jihozápadu. Nosným prvkem zde jsou hliníkové profily přichycené speciálními háky ke konstrukci střechy. K profilům jsou připevněny FV panely. Tato konstrukce je snad vůbec nejpoužívanější zejména pro její jednoduchost, snadnou montáž a nízkou cenu.



*Obr. 8 Montáž střešního háku. [4]*

#### **- Konstrukce pro ploché střechy**

Tyto konstrukce jsou většinou tvořeny ocelovými pozinkovanými profily trojúhelníkového tvaru, které jsou vzájemně „zavětrované“ a podélně spojené hliníkovým profilem pro uchycení FV panelů. Konstrukce se ke střeše připevňuje buď napevno chemickými kotvami, nebo se zatíží betonovými bloky či dlaždicemi.

#### **- Konstrukce pro volná prostranství**

Stejné řešení jako u plochých střech se používá u větších elektráren postavených na volných prostranstvích s tím rozdílem, že konstrukce se spojuje pevně se zemí a to buď závrtnými šrouby, pozinkovanými profily zatlačenými do země, nebo betonovými základy.

#### **- Polohovatelné systémy**

Dalším možným, a co do výtěžnosti, nejlepším způsobem pro uchycení FV panelů jsou polohovatelné systémy tzv. trackery. Tracker automaticky otáčí a naklání panely ke Slunci dle jeho astronomické dráhy a umožňuje tedy maximální výtěžnost z FVE. Zkušenosti hovoří o 30 až 35 % nárůstu výtěžnosti oproti běžným pevným instalacím. Nevýhodou ovšem zůstávají zvýšené počáteční investiční náklady, vlastní spotřeba systému a nutná údržba. [2]

### **1.2.5. Měniče**

Stejnoseměrný proud nelze jednoduše transformovat, tj. měnit velikost napětí. To byl mimochodem jeden z důvodů, proč v 19. století došlo k odklonu od proudu stejnosměrného ve prospěch proudu střídavého a proč se dnes používá v rozvodných sítích pouze proud střídavý. Pokud tedy chceme dodávat stejnosměrný proud vyrobený fotovoltaickými moduly do rozvodné sítě, musíme jej napřed přeměnit na střídavý proud o vhodném napětí (230 V nebo i více, pokud jde o velké fotovoltaické instalace, které dodávají proud do sítě vysokého napětí).

Měniče proudu napřed stejnosměrný proud přemění pomocí spínacích obvodů na proud střídavý a ten je potom transformován na potřebné napětí. Kromě napětí, výkonu a frekvence má velký význam i tvar střídavého napětí, které měnič produkuje. Nejvýhodnější (a nejdražší) jsou invertory se sinusovým průběhem napětí. Obdélníkové nebo lichoběžníkové průběhy jsou pak nejméně používané a pro rozvodnou síť naprosto nepřijatelné. Rozvodné závody vykupující elektřinu mají zpravidla

definovány požadavky na průběh napětí. Dnes se používají prakticky výlučně měniče elektronické (dříve bývaly i rotační). Pokud dodáváme proud do sítě, používá se měnič synchronní, který je přifázován k síti. Měniče se někdy používají i k nabíjení akumulátoru (DC to DC convertor). Na dodávku proudu do rozvodné sítě jsou kladeny poměrně velké požadavky z hlediska časového průběhu napětí, obsahu vyšších harmonických apod. vyrobené napětí je nutné dodávat do sítě přesně ve fázi; říkáme, že měnič musí být přifázován na síť. Dále je třeba měřit množství energie odevzdané do sítě a také zajistit odepnutí při poruše. Pro pracovníky, kteří opravují poruchu na vypnuté rozvodné síti, by bylo krajně nebezpečné, kdyby se najednou na síti objevilo napětí.

S tím, jak se rozšiřuje počet do sítě zapojených FVE, rostou požadavky na kvalitu použitých měničů. Na správném dimenzování invertoru závisí také celková dosažitelná účinnost; dá se to řešit například tak, že je použito více menších měničů, které se spínají podle okamžitých požadavků na výkon, a tak mohou pracovat s optimální účinností. [1]

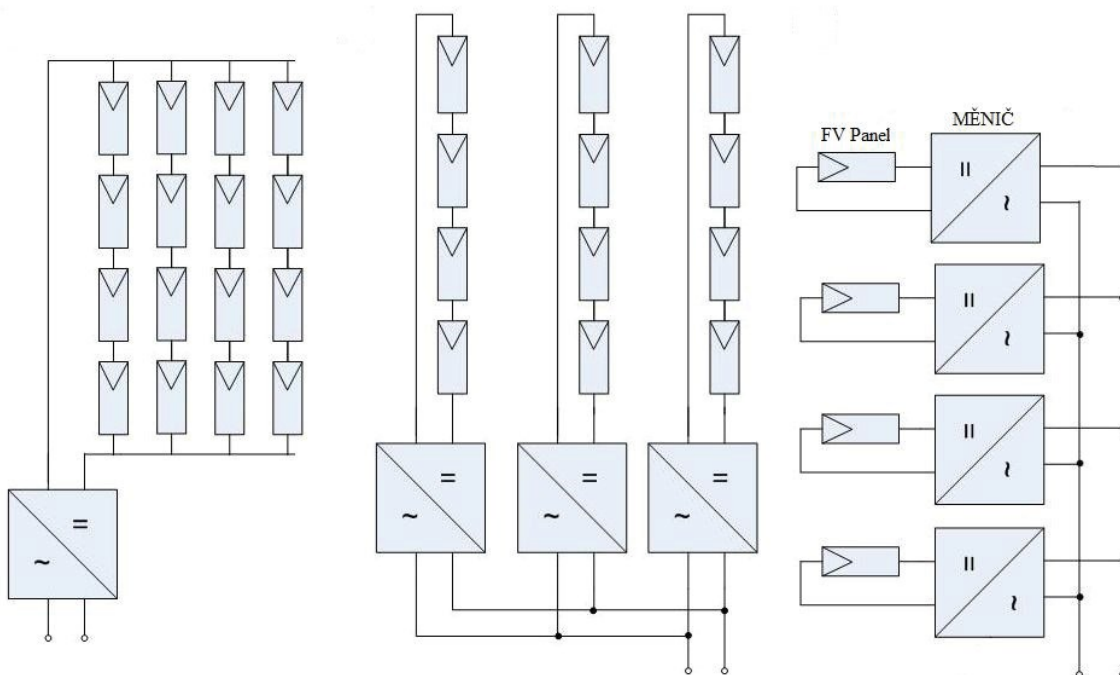
Invertor musí dodávat co nejvyšší výkon s minimem ztrát. To může být zajištěno odstraněním transformátoru s následným snížením tepelných ztrát a užitím zařízení pro sledování bodu maximálního výkonu (MPP), které změnou vstupního odporu zajišťuje optimální chod invertoru. Přifázování střídače (připojení energie z panelů do sítě) bývá plně automatizováno. Na životnost invertorů má mimo jiné vliv i konstrukční řešení - chlazení přirozenou cirkulací vzduchu bez použití ventilátoru.

Pro konkrétní použití se vyrábějí invertory ostrovní a síťové. Ostrovní generují svůj vlastní kmitočet, který odpovídá kmitočtu v rozvodné síti ( $f = 50$  Hz). Tak je možno použít v této síti běžné elektrické spotřebiče střídavého proudu. Síťové měniče synchronizují svůj kmitočet a napětí s aktuálními parametry rozvodné sítě.

Z hlediska zapojení v systému FVE se invertory dělí na modulové, řetězcové a centrální.

U modulových je invertor připojen pouze k jednomu FV modulu. Setkáváme se s nimi velmi zřídka, výlučně u malých systémů. Řetězcové (stringové) jsou zapojeny tak, že každý invertor je připojen k několika FV panelům vzájemně propojeným do série, případně i paralelně. Využívají se hlavně u středně velkých elektráren. Centrální invertory jsou připojené na stovky až tisíce FV panelů.

V případě velkých elektráren se používá koncept jak velkých centrálních střídačů, tak i velkého množství řetězcových střídačů. [2]



Obr. 9 Příklady zapojení invertorů a panelů. [2]

## 1.2.6. Kabely pro DC rozvod

Důležitou částí zařízení na získávání elektřiny ze slunce jsou kabely a konektory na DC straně elektrárny, které musí vyhovovat speciálním požadavkům. Kabeláž slouží k propojení jednotlivých solárních panelů mezi sebou nebo pro spojení svorkovnice a měniče. Vyrábějí se velikosti o průřezu nejčastěji 2,5; 4; 6 a 10 mm<sup>2</sup>, ale pro větší proudy se dodávají i kabely o průřezu 16 a 25 mm<sup>2</sup> nebo případně větší. Například kabel 4 mm<sup>2</sup> se používá pro takové kombinace FV panelů, u nichž proud kabelem nepřesáhne 16 A a délka mezi panely a regulátorem není větší než 20 m. Kabely mají výhodu v odolnosti proti slunečnímu záření, povětrnostním vlivům, olejům, chemikáliím, požáru a vůči teplotním vlivům venkovního prostředí. Jsou určeny pro venkovní použití, ale lze je užít samozřejmě i pro vnitřní pevné uložení. Vodivé jádro je spleteno z jednotlivých lanek, která byla vyrobena z mědi. Povrch mědi je zpravidla pocínovaný. Izolace se skládá obvykle z vnitřní a vnější části. Alternativně ještě může mít opletení z lanek FeZn pro zlepšení mechanické odolnosti. [16,17]



Obr. 10 Solární kabel. [15]



### 1.2.7. Měřiče vyrobené energie

Množství energie jdoucí do sítě musí být měřeno vhodným měřidlem (cílem je vydělat peníze prodejem elektřiny). Pokud máme fotovoltaický systém v domě, tak se obvykle používají dva elektroměry: jeden měří elektřinu vyrobenou fotovoltaickým systémem a druhý elektřinu dodávanou do domu.[1]

Druh a počet potřebných měřicích zařízení (elektroměrů PDS) a řídicích přístrojů (přepínačů tarifů) se řídí podle smluvních podmínek pro odběr a dodávku elektřiny příslušného PDS. Proto je nutné projednat jejich umístění s PDS již ve stadiu projektu. Fakturační elektroměry v majetku PDS a jim přiřazené řídicí přístroje jsou uspořádány na vhodných trvale přístupných místech odsouhlasených PDS. Dodávku a montáž elektroměrů zajišťuje PDS na vlastní náklady. [20]

## 1.3. Části autonomních solárních systémů

Autonomní systémy (gridd-off) jsou znatelně dražší než systémy dodávající proud do sítě. Hlavním důvodem je cena akumulátorů, která u některých fotovoltaických systémů tvoří 40 až 60 % ceny systému. Vzhledem k tomu, že reálná životnost akumulátorů je menší než životnost fotovoltaických panelů (přibližně 5 až 10 let oproti minimálně dvaceti rokům), mohou být náklady na akumulátory větší než na fotovoltaické panely. Z toho důvodu má prodloužení životnosti a snižování ceny velký význam. Nejčastěji se používají akumulátory olověné. Akumulátory používané ve FVE se od těch startovacích liší tím, že jsou optimalizovány na hluboké vybíjení (deep cycle) a mají nízké samovybíjení. Používají se již velmi dlouho a jejich technologie je již dokonale zvládnutá. [1]

### 1.3.1. Akumulátory

Příkladem v současnosti používaných menších akumulátorů je solární gelový akumulátor SOL12-200DG [8]. Používá se pro solární fotovoltaické aplikace, jako jsou solární ostrovní systémy a hybridní fotovoltaické elektrárny HFVE. Akumulátor se vyznačuje dlouhou životností kolem 12-ti let, a vysokou odolností proti poškození při hlubokém vybíjení. Na rozdíl od jiných typů akumulátorů jako jsou například autobaterie nebo AGM akumulátory vyniká vysokým počtem cyklů a je to proto nejlepší a nejpoužívanější akumulátor pro FVE, které vyžadují zcela bezúdržbový provoz. Velkou výhodou je také rozsah pracovních teplot, který je u těchto gelových akumulátorů v rozsahu od -20 °C. Pracuje s napětím 12 V, maximálním nabíjecím proudem 40 A, a maximálním vybíjecím proudem 2000 A po dobu 5 s.





*Obr. 11 Akumulátor SOL12-200DG. [8]*

Pro výkonnější aplikace lze použít solární trakční kyselinový akumulátor SOL48/1000.



*Obr. 12 Solární trakční kyselinový akumulátor SOL48/1000. [9]*

Je velmi vhodný pro solární fotovoltaické aplikace, jako je hybridní fotovoltaická elektrárna. Předpokládaná životnost udávaná výrobcem tohoto trakčního akumulátoru je cca 1500 cyklů při 80% vybití. V klasické fotovoltaické instalaci by pak měl vydržet přibližně 10 let. Obsahuje 24 kusů článků, s nichž má každý napětí 2 V, pracuje tedy z napětím 48 V. Hmotnost jednoho článku je 53,1 kg. Celková hmotnost je tedy značná. [9]

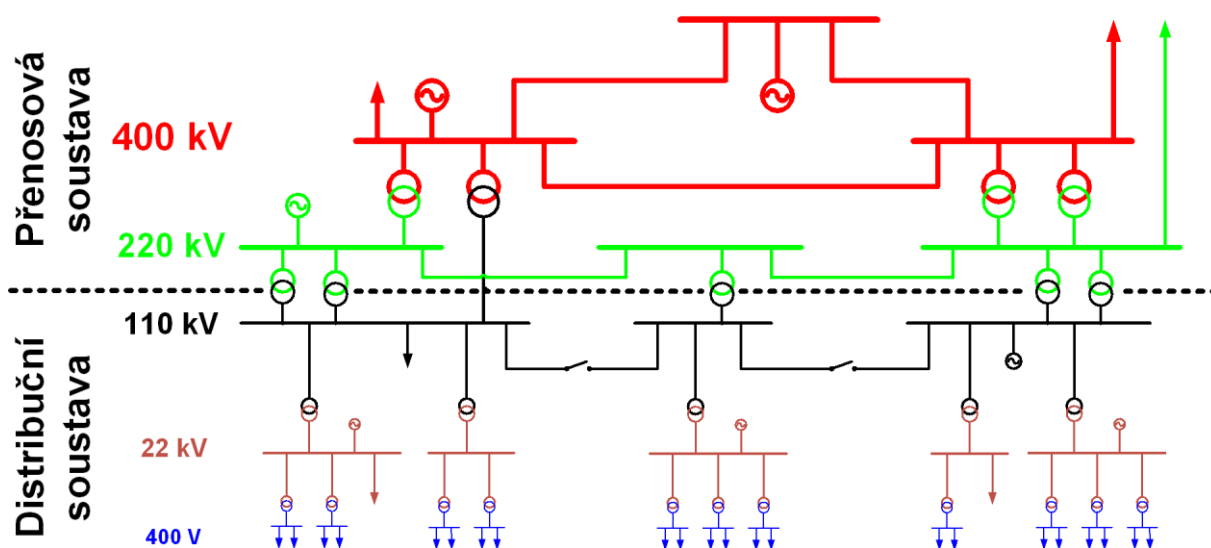
### **1.3.2. Další záložní zdroje**

Pokud provozujeme fotovoltaický systém, který není připojen k elektrické síti, je nutné mít nějaký záložní zdroj energie pro období nedostatečného slunečního svitu (zpravidla je to v zimě). Nejčastěji se používá elektrocentrála s motorem na benzín nebo na propan či propan-butan, který je levnější než benzín. U větších výkonů se používá dieselový motor. V poslední době je na trhu celá řada výkonů. Ceny elektrocentrál vhodných pro malé instalace v chatách či rodinných domech se pohybují od 6 do 50 tisíc korun. Některé dražší typy mají i stabilizátor napětí. Elektrocentrálu zpravidla používáme k dobíjení akumulátorů nebo pro pohon spotřebičů, které mají větší příkon, než může dodat měnič a akumulátory. Nevýhody elektrocentrály jsou v tom, že vyžaduje určitou obsluhu, je hlučná, produkuje výfukové plyny a hlavně takto vyrobená elektřina je poměrně drahá. [1]

## 2. Podmínky pro připojování FVE do distribuční sítě

Každá elektrárna připojovaná do distribuční sítě musí splňovat určité podmínky (administrativní a technické) stanovené provozovatelem distribuční sítě. Ten je licencován podle energetického zákona a regulován Energetickým regulačním úřadem (ERÚ). Spravuje a rozvíjí distribuční síť, připojuje zákazníky a poskytuje další služby související s distribucí elektřiny a s výrobou elektrické energie. Dále funguje jako kontaktní subjekt ve vztahu k Energetickému regulačnímu úřadu, zodpovídá za dlouhodobé plánování rozvoje distribučního majetku, plánování objemů údržby sítě elektřiny a přípravu dohod o připojení nových zdrojů k síti. [18]

Elektrizační soustava slouží k přenosu a rozvodu elektrické energie z místa výroby do místa spotřeby. Elektrizační soustavu tvoří elektrické stanice, výrobní elektrické energie a elektrické sítě. Elektrizační soustavu dělíme na přenosovou a distribuční soustavu.



Obr. 13 Elektrizační soustava. [19]

**Přenosová soustava** je v České republice sestavena ze sítí 400 kV a 220 kV, a tvoří páteř elektrizační soustavy. Slouží k přenosu výkonů na velké vzdálenosti, zajišťuje propojení elektrizační soustavy se soustavami zahraničními a dále slouží pro vyvedení výkonu z velkých systémových elektráren.

**Distribuční soustava** slouží k distribuci výkonu k odběratelům. V České republice je tvořena sítěmi 110 kV a všech nižších napěťových úrovní. Přenáší výkon na kratší vzdálenosti a jsou do ní připojeny elektrárny nižších výkonů. V některých případech zajišťuje přeshraniční propojení, které však slouží pouze pro napájení vydělených oblastí.

Hlavním rozdílem mezi distribuční a přenosovou soustavou je kromě velikosti napětí také zapojení obou sítí. V přenosové soustavě jsou až na provozní výjimky všechna vedení a transformátory mezi hladinami 400 kV a 220 kV propojeny, jedná se o propojenou síť připomínající pavučinu, ve které se všechny prvky vzájemně elektricky ovlivňují. Při vypnutí jednoho či více vedení a transformátorů převezmou jejich zátěž ostatní prvky, které zůstaly v provozu. Provozovatelem přenosové soustavy v české republice je společnost ČEPS, a.s. Distribuční soustavu tvoří vzájemně nepropojené oblasti, které jsou napájeny z přenosové soustavy jedním nebo více transformátory zapojenými paralelně [19].

Na území České republiky mezi nejvýznamnější provozovatele distribučních soustav patří společnosti ČEZ Distribuce, a. s., provozující distribuční soustavu na území bývalého Západočeského, Severočeského, Středočeského, Východočeského a Severomoravského kraje. Dále je to společnost E.ON Distribuce, a. s. provozující distribuční soustavu na území bývalého Jihočeského a Jihomoravského kraje. Posledním významnou společností je PREdistribuce, a. s., provozující distribuční soustavu na území Hlavního města Prahy a města Roztoky u Prahy.

## **2.1. Žádost o připojení**

Pro připojení FVE musíme splnit nejen technické, ale i administrativní podmínky. První podmínkou je podání žádosti o připojení. Žadatel musí přiložit vyplněný příslušný formulář PDS.

Součástí podkladů dále jsou:

- souhlas vlastníků nemovitostí dotčených výstavbou výrobní
- územně-plánovací informace.
- požadovaná hodnota rezervovaného výkonu a rezervovaného příkonu
- stávající hodnota rezervovaného příkonu a výkonu
- v případě, že žádost neobsahuje všechny uvedené náležitosti, nebude ze strany PDS posuzována a žadatel bude neprodleně vyzván k doplnění žádosti. Za termín přijetí žádosti se považuje datum doručení úplné žádosti o připojení včetně uvedených náležitostí žádosti o připojení výrobní.

### **2.1.1. Posouzení žádosti o připojení**

PDS po obdržení žádosti rozhodne, zda je připojení možné s ohledem na:

- rezervovaný výkon předávacího místa mezi PS/DS a hodnotu limitu připojitelného výkonu odběrného místa PDS stanovených provozovatelem PS ve smlouvě o připojení mezi PPS a příslušným PDS. Pro stanovení bilanční hodnoty připojitelného rezervovaného výkonu fotovoltaické elektrárny se vychází ze soudobosti 0,8, není-li ve smlouvě o připojení mezi PPS a PDS stanoveno jinak.
- volnou distribuční kapacitu na úrovni transformace 110 kV/VN. Dále zda je nutné, aby žadatel nechal možnost připojení výrobní k DS ověřit studií připojitelnosti. Další posouzení žádosti o připojení musí zohlednit požadavky dané Pravidly provozování distribučních soustav. [20]

### **2.1.2. Studie připojitelnosti**

Studie připojitelnosti výrobní (dále jen studie) musí obsahovat technické posouzení možného připojení výrobní s ohledem na:

- napěťové poměry ve všech posuzovaných uzlech sítě
- zatížitelnost jednotlivých prvků sítě
- dodržení parametrů zpětných vlivů na DS dle předepsaných kritérií, a to zejména změny napětí vyvolané trvalým provozem výrobní, změny napětí při spínání, útlumu signálu HDO, flikru, harmonických a dalších kritérií daných PPDS.

Náklady na zpracování studie hradí jejímu zpracovateli žadatel. PDS poskytuje nutnou součinnost podle, tj. především poskytne podklady pro tvorbu studie připojitelnosti v rozsahu

potřebném pro její zpracování. Posuzování připojitelnosti ve zpracovávané studii je nutné provádět postupy uvedenými níže s ohledem na dosažení co nejnižšího zpětného ovlivnění DS provozem výrobní a využívat při tom všech provozních možností připojovaného zařízení (např. určení provozního účinníku s ohledem na co nejnižší změnu napětí vyvolanou provozem výrobní. V případě pochybností o správnosti a úplnosti předložené studie může PDS požadovat její doplnění, rozšíření a případně ji zamítnout jako neodpovídající. Provozovatel DS má právo si vyžádat kopie dokladů z kterých zpracovatel studie čerpal při výpočtu: jedná se především o zkušební protokoly, atesty zkušeben, použité výpočetní metody apod. V případě, že zpracovatel studie není schopen doložit dokumenty, z kterých čerpal technické údaje a postupy při výpočtech, má PDS právo považovat studii za nehodnověrnou a nemusí ji akceptovat. U zdrojů, připojovaných do sítí NN a VN je rozsah dán zpravidla stanicí s napájecím transformátorem sítě, vedením s posuzovaným zdrojem a jeho doporučeným přípojným bodem a dalšími vedeními s provozovanými či plánovanými zdroji i zátěžemi těchto vedení. Posuzovány jsou provozní stavy definované PDS. Dále se ve studii posuzují případné přetoky do vyšších napěťových hladin a jejich vliv na činnost regulace napětí transformátorů. Výpočty chodu sítě jsou dle požadavku provozovatele DS prováděny pro letní minimální zatížení, zimní maximální zatížení, příp. takové zatížení, při němž bude dosahováno maxima výroby v dané síti. Protože v současné době nejsou k dispozici pro prokázání chování zdrojů v přechodových stavech potřebné vstupní údaje, bude zpracovatel studie dokládat pouze schopnost (vybavenost) těchto zdrojů pro tyto stavy podle zkušebních protokolů výrobců. [20]

### 2.1.3. Projektová dokumentace

Požadovaná prováděcí projektová dokumentace dle vyhlášky 499/2006, předložená PDS k odsouhlasení musí obsahovat minimálně tyto základní podklady:

- realizaci požadavků PDS dle vyjádření.
- délky, typy a průřezy vedení mezi výrobnou a místem připojení k DS, parametry použitých transformátorů.
- situační řešení připojení výrobní k DS.
- typy, parametry a navržené hodnoty nastavení elektrických ochranných výrobní souvisejících s DS.
- parametry a provedení řízení činného a jalového výkonu (pokud je požadováno).
- parametry a provedení zařízení pro snížení útlumu signálu HDO, pokud vypočtené nebo naměřené hodnoty přesahují limity povolené PPDS nebo technickými normami.
- návrh provedení fakturačního měření a jeho umístění.
- potřebné údaje k rozhraní pro dálkové ovládání, měření a signalizaci pro vazbu na řídicí systém DS. (bylo-li požadováno)
- zařazení vyhrazeného elektrického technického zařízení do tříd a skupin podle vyhlášky č. 73/2010 Sb.
- popis funkcí ochranných a automatik zdroje majících vazbu na provoz DS.

K projektové dokumentaci vystaví PDS do 30 dnů vyjádření, jehož součástí bude požadavek na předložení zpráv o výchozí revizi výrobní, jejího připojení k DS, ochranných souvisejících s DS a dále místních provozních předpisů. V případě, že předložená projektová dokumentace není úplná, PDS ji neposuzuje, žadatele vyrozumí a umožní žadateli si ji po dohodě vyzvednout k doplnění. Pokud PDS nestanoví jinak, je dokumentace předávána kompletní dle výše uvedených bodů a v papírové podobě.

PDS je oprávněn si celou dokumentaci nebo její vybrané části ponechat pro kontrolu při uvádění výroby do provozu. [20]

## 2.2. Podmínky pro připojení

K zabránění zavlečení zpětného napětí do sítě PDS je zapotřebí zajistit technickými opatřeními, aby připojení vlastní výroby k síti PDS bylo možné pouze tehdy, když jsou všechny fáze sítě pod napětím. K připojení může být použit jak spínač, který spojuje celé zařízení odběratele se sítí, tak i spínač, který spojuje elektrárnu se zbylým zařízením odběratele. Zapnutí tohoto vazebního spínače musí být blokováno do té doby, dokud není na každé fázi napětí minimálně nad rozběhovou hodnotou podpětíové ochrany. K ochraně vlastní výroby se doporučuje časové zpoždění mezi obnovením napětí v síti a připojením výroby v rozsahu minut. Střídače smějí být spínány pouze tehdy, když je jejich střídavá strana bez napětí. Výroby s obnovitelnými zdroji, kam FVE patří, mohou být zproštěny povinnosti primární regulace. Podle schopností konvenčních výrobních zařízení při vzniku náhlé výkonové nerovnováhy v důsledku rozdělení sítě, vytvoření ostrovů a k zajištění obnovy provozu, musí výroby s obnovitelnými zdroji užívat takové řídicí a regulační charakteristiky, které odpovídají současnému stavu techniky. U fotočlánkových zařízení připojovaných do sítě NN je omezen výkon při jednofázovém připojení v jednom přípojném bodě na 3,7 kVA, nesymetrie u fázových vodičů nesmí za normálního provozního stavu překročit 3,7 kVA. Maximální výkon na výstupu střídače (maximální desetiminutová střední hodnota) musí být omezen na nejvýše 110 % jmenovitého výkonu. [20]

### 2.2.1. Připojení k síti

Nově připojované zdroje do DS musí být připraveny pro instalaci dálkového ovládání, tzn. ovládací obvod a komunikační cestu mezi elektroměrovým rozváděčem a novým zdrojem. Připojení k síti PDS se děje ve předávacím místě s oddělovací funkcí, přístupném kdykoliv personálu PDS. Požadavek na kdykoliv přístupné spínací místo s oddělovací funkcí je u jednofázových zdrojů do 3,7 kVA a trojfázových do 30 kVA splněn, pokud jsou tyto zdroje vybaveny zařízením pro sledování stavu sítě s přiřazeným spínacím prvkem. Spínací prvek může být samostatný nebo být součástí střídače. Princip může být sledování impedance a vyhodnocování její změny, fázové sledování napětí či změna fázoru napětí. Napětí je sledováno v těch fázích, ve kterých je výroba připojena k síti. Toto se týká zdroje neumožňujícího ostrovní provoz OM. V případě, že zdroj umožňuje ostrovní provoz OM, musí být zajištěno, že v případě ztráty napětí v distribuční síti dojde k odpojení celého OM. Toto zařízení musí být ověřeno akreditovanou zkušebnou.

Výrobce poskytne PDS na vyžádání protokoly o typových zkouškách připojovaného zařízení nebo protokoly akreditované zkušebny o připojovaném zařízení.

U zdrojů s instalovaným výkonem 100 kVA a více musí být spínač s oddělovací funkcí vybaven dálkovým ovládáním a signalizací stavu. Pro zdroje s nízkou dobou využití, na jejichž provoz není vázána výrobní technologie a výrobce nepožaduje obvyklou zabezpečenosť připojení k soustavě lze připustit uvedená zjednodušená připojení k soustavě, pokud splňují ostatní požadavky na bezpečný provoz soustavy. Vlastní výroby, popř. zařízení odběratelů s vlastními výrobny, které mají být provozovány paralelně se sítí PDS, je zapotřebí připojit k síti ve vhodném předávacím místě. Způsob a místo připojení na síť, stejně jako napětíovou hladinu, konečnou výši rezervovaného výkonu stanoví

PDS s přihlédnutím k daným síťovým poměrům, požadovanému výkonu a způsobu provozu vlastní výroby, stejně jako k oprávněným zájmům výrobce. Tím má být zajištěno, že vlastní výroba bude provozována bez rušivých účinků, neohrozí napájení dalších odběratelů nebo dodávky ostatních výrobců. Posouzení možností připojení z hlediska zpětných vlivů na síť vychází z impedance sítě ve společném napájecím bodě (zkratového výkonu), připojovaného výkonu, stejně jako druhu a způsobu provozu vlastní výroby a údajích o souvisejících výrobnách, včetně jejich vlivu na napětí v DS, s využitím skutečně naměřených hodnot v související oblasti DS. Výrobu lze připojit:

- a) přímo k DS
- b) v odběrném místě
- c) v předávacím místě jiné výroby [20]

### **2.2.2. Zvýšení napětí**

Za normálních provozních podmínek (v základním zapojení sítě) nesmí zvýšení napětí vyvolané provozem připojených výroben v nejnepříznivějším případě (přípojném bodu) překročit 2 % pro výroby s přípojným místem v síti VN a 110 kV ve srovnání s napětím bez jejich připojení, současně nesmí být překročeny limity napětí v předávacím místě zdroje. Pro výroby s přípojným místem v síti NN nesmí překročit zvýšení napětí 3 %. Úroveň napětí musí být posouzena s ohledem na výši skutečné hodnoty napětí v předávacím místě.

Při mimořádném zapojení sítě (při náhradních dodávkách) nesmí zvýšení napětí vyvolané provozem připojených výroben v nejnepříznivějším případě (v přípojném bodu) překročit 5 % pro výroby s přípojným místem v síti VN ve srovnání s napětím bez jejich připojení. Tato podmínka musí být splněna současně s podmínkou pro zvýšení napětí v základním zapojení sítě. [20]

### **2.2.3. Nesymetrie napětí v sítích NN**

Jednofázové zdroje (především fotovoltaiky) ovlivňují symetrii (fázových) napětí podobně jako jednofázová zatížení. PNE 33 3430-0 stanoví pro jednotlivé odběry dovolenou mezní hodnotu napětí zpětné složky maximálně 0,7 % ze jmenovitého napětí sítě NN. Celková dovolená hodnota nesymetrie napětí v síti NN je přitom podle ČSN EN 50160 do 2 %. Pro posouzení nesymetrie při kontrole připojitelnosti jednofázových zdrojů je zapotřebí použít vhodný výpočetní program. [20]

### **2.2.4. Změny napětí při spínání**

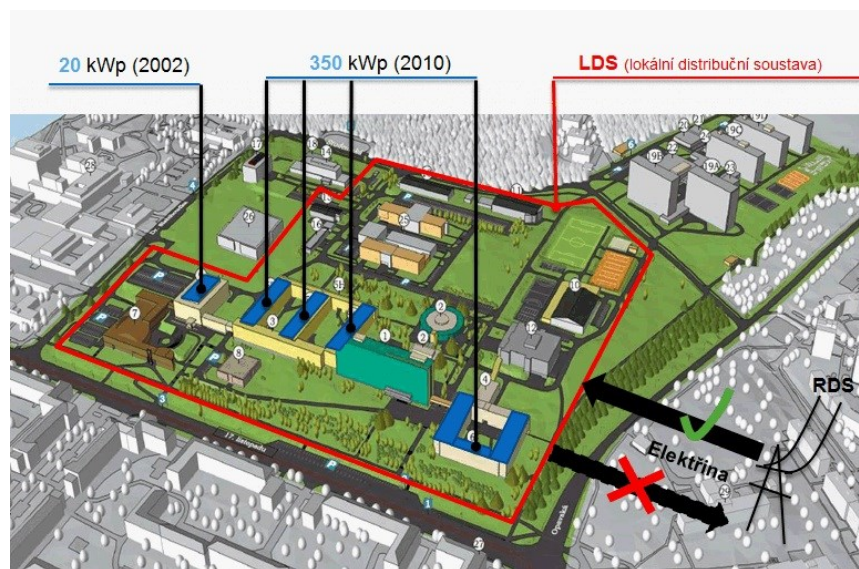
Za normálních provozních podmínek (v základním zapojení sítě) změny napětí ve společném napájecím bodě, způsobené připojováním a odpojováním jednotlivých zařízení, nevyvolávají nepřipustné zpětné vlivy, tj. pokud největší změna napětí pro výroby s předávacím místem v síti NN nepřekročí 3 % a pro výroby s předávacím místem v síti VN nepřekročí 2 %.

Toto platí, pokud spínání není častější než jednou za 1,5 minuty. Při velmi malé četnosti spínání, např. jednou denně, může PDS připustit větší změny napětí, pokud to dovolí poměry v síti. [20]

### 3. Analýza výroby elektrické energie FVE

FVE, pro kterou byla analýza výroby elektrické energie zpracována, se nachází v areálu VŠB Ostrava. Data jsou získána z Výzkumného energetického centra, kde je vybudováno dispečerské pracoviště pro monitorování fotovoltaických elektráren. Využívají zde k tomu systému SunnyGuard, jenž je nabízen jako komerční služba pro další majitele FVE. V dnešní době monitorují jak malé FVE, tak velké fotovoltaické parky v řádech MWp. Výhodou tohoto pracoviště je dlouhodobá praktická zkušenost s těmito zdroji energie. V rámci dispečinku jsou monitorovány různé panely, sklony, azimuty, typy panelů a měničů. Data jsou zde analyzována a meziročně vyhodnocována.

Jedna elektrárna o výkonu 20 kWp zde byla vybudována v roce 2002 na střeše univerzitní knihovny, té se ale analýza netýká. Druhá elektrárna o výkonu 350 kWp byla postavena v roce 2010. Analýza výroby je zpracována pro tuto FVE pomocí Excelu 2013. Nová elektrárna je rozmístěna na budovách E, F, G, J a je vybavena možností dálkového vypnutí z dispečinku. [12]



Obr. 14 Rozmístění FVE v areálu VŠB. [12]

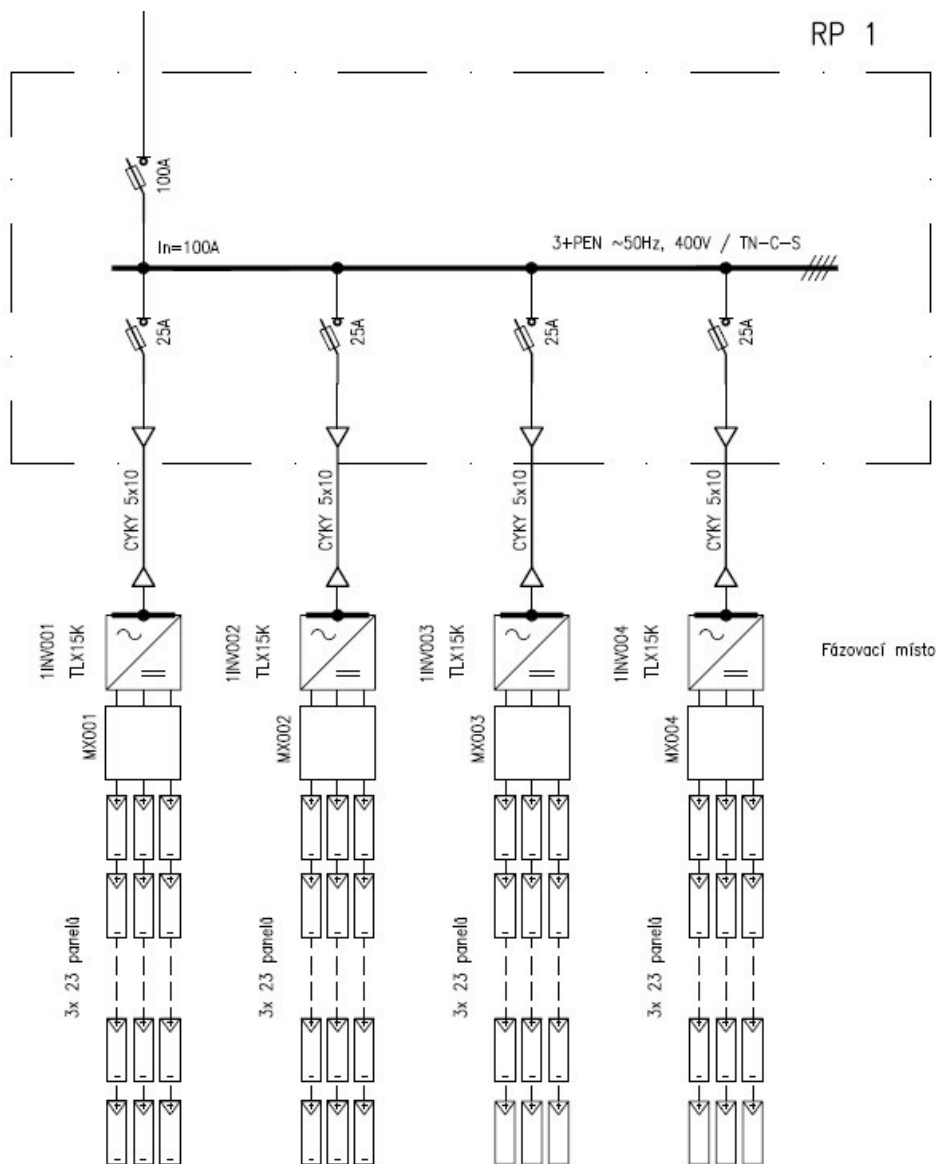
#### 3.1. Technický popis elektrárny

Elektrárna se skládá z 1530 polykrystalických panelů BP3230T o výkonu 230 W a účinnosti 13,8 %. Panel je složen z šedesáti polykrystalických křemíkových článků zapojených sériově. Pro panely je použito celkem 23 měničů. Z toho jeden od firmy AEG, který je připojen na dva stringy po šesti panelech na budově J. 22 měničů kusů je od firmy Danfoss TLX15, z tohoto počtu připadá na budovy E, F, G celkem 16 ks a 6 ks je umístěno na budově J. Na jejich vstup lze připojit až 17,7 kWp při maximální stejnosměrném napětí 700 V. Na každý měnič Danfoss je připojeno 3 x 23 panelů, což odpovídá špičkovému výkonu 15870 Wp.

Elektrárna je k soustavě připojena ve třech místech (budovy E, G, J). Elektrické schémata pro části E a G jsou stejná. Vždy je získaná energie ze čtyřech měničů vedena do rozvaděče RP 1 (RP 2, RP 3, RP 4) pomocí kabelů CYKY o jističi 25 A. Rozvaděče RP1 a RP 2 jsou dále připojeny pomocí kabelů AYKY-J do přípojného místa v budově E (RH E). Stejně tak rozvaděče RP 3 a RP 4 mají napojení do rozvodny v přízemí budovy G (rozvaděč RH G). V poslední části (budova J) je použito 6



měníčů Danfoss a jeden měnič AEG, které jsou vedeny do rozvaděče RP 5. Odtud je elektrická energie vedena do rozvodny (rozvaděč RH J). Panely z této části budovy by měly být schopny dodat 98 kWp.



Obr. 15 Připojení měničů do rozvaděče RP 1.

### 3.2. Měření dopadajícího slunečního záření

Důležitým článkem pro posouzení výroby FVE je měření intenzity slunečního záření. Údaje o intenzitě slunečního záření lze získat měřením. Meteorologické stanice nejčastěji měří jen celkové záření (součet přímého a difúzního záření).

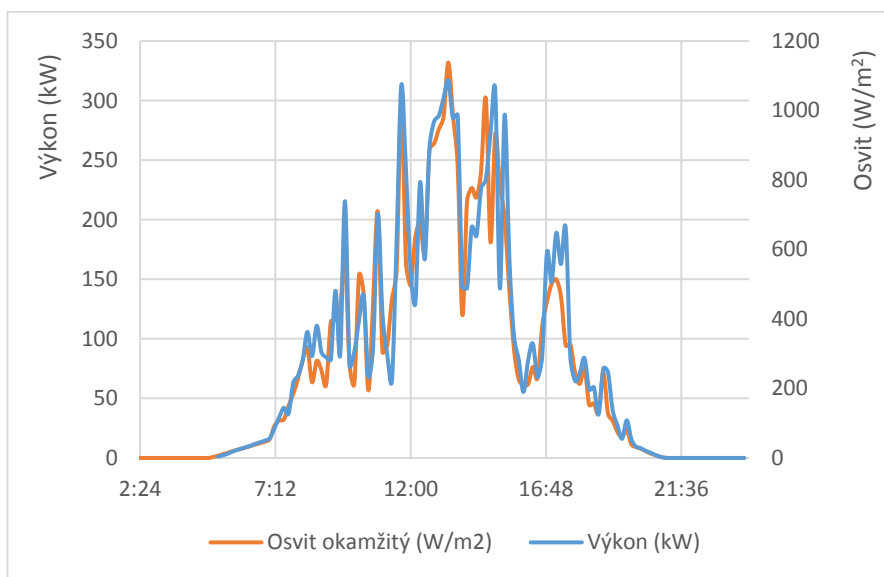
Přímé záření - sluneční záření, které při průchodu atmosférou není odraženo ani pohlceno a znovu vyzářeno.

Difuzní záření - sluneční záření, které se odrazilo od částeczek obsažených v atmosféře (vodní kapky, prach) a změnilo směr. Vlnová délka tohoto záření zůstává stejná jako před odrazem. Množství difuzního záření závisí na oblačnosti a znečištění atmosféry. Tyto jevy naopak zmenšují množství přímého záření. Například při zatažené obloze dopadá na povrch Země pouze difuzní záření.[10]

Zpravidla se používá přístroj zvaný pyranometr. Měření je založeno na tom, že se porovnává teplota černého a bílého povrchu pod skleněným krytem a rozdíl teplot měřený souborem termočlánků je úměrný intenzitě dopadajícího slunečního záření. To, že je sluneční záření přeměněno na teplo, zaručuje, že odezva nezávisí na vlnové délce záření. Kvalitní a cejchované pyranometry s klasickým termočlánkovým čidlem jsou poměrně drahé, a proto se v poslední době pro měření slunečního záření pro technické účely používají pyranometry s čidlem na bázi křemíkového fotovoltaiického článku. Tady už není odezva přístroje úplně nezávislá na vlnové délce a stejná pro celé spektrum slunečního záření jako u pyranometru s termočlánky. [1]

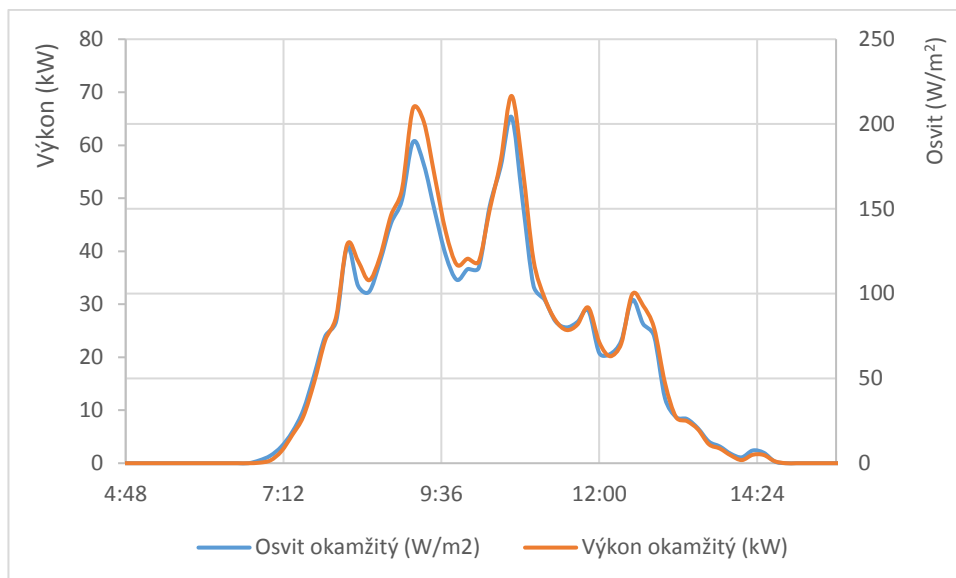
Montáž se zpravidla provádí tak, že se uchytí na hliníkový rám solárního panelu, ale každopádně nesmí stínit žádnému panelu.

V grafech níže je porovnání dvou dnů. První je letní slunečný den, kdy hodnota okamžitého osvitu přesáhla  $1000 \text{ W/m}^2$  (oranžová křivka) a druhou veličinou je vyrobený okamžitý výkon všech měničů. Z obrázku je patrné, že výkonová křivka přibližně kopíruje křivku osvitu, z čehož plyne, že výroba energie FVE je závislá právě na intenzitě slunečního záření.

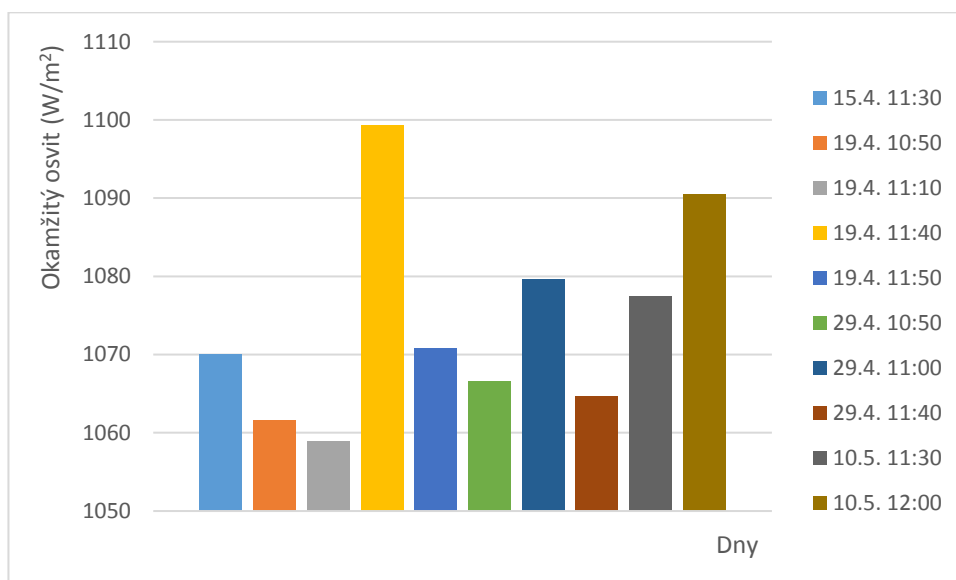


Obr. 16 Měření ze dne 10. 7. 2015.

Druhý graf je z měsíce ledna, přičemž je patrné, že intenzita slunečního záření zdaleka nedosahuje hodnot z předchozího grafu. A z tohoto důvodu, je také dodávaný okamžitý výkon nižší. Ale i v tomto případě mají veličiny podobný průběh.



Obr. 17 Měření ze dne 17. 1. 2015.



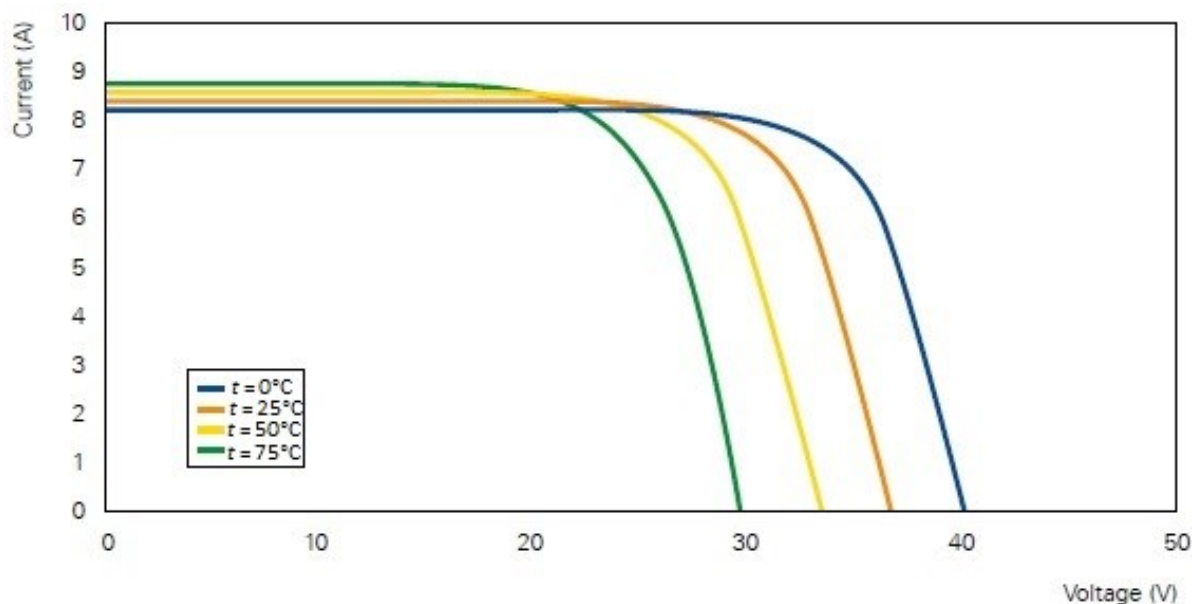
Obr. 18 Naměřená maxima okamžitého osvitu.

V tomto grafu je zobrazeno deset měření, při kterých byla okamžitá intenzita slunečního záření nejvyšší. Dne 19. 4. 10.40 dosáhla hodnota téměř  $1100 \text{ W/m}^2$ , což je ve zdejších klimatických podmínkách maximum, kterého lze dosáhnout. Nejvyšší hodnoty byly dosaženy od druhé poloviny dubna do desátého května. Takovéto hodnoty jsou samozřejmě spíše výjimečné.

### 3.3. Teplota panelů

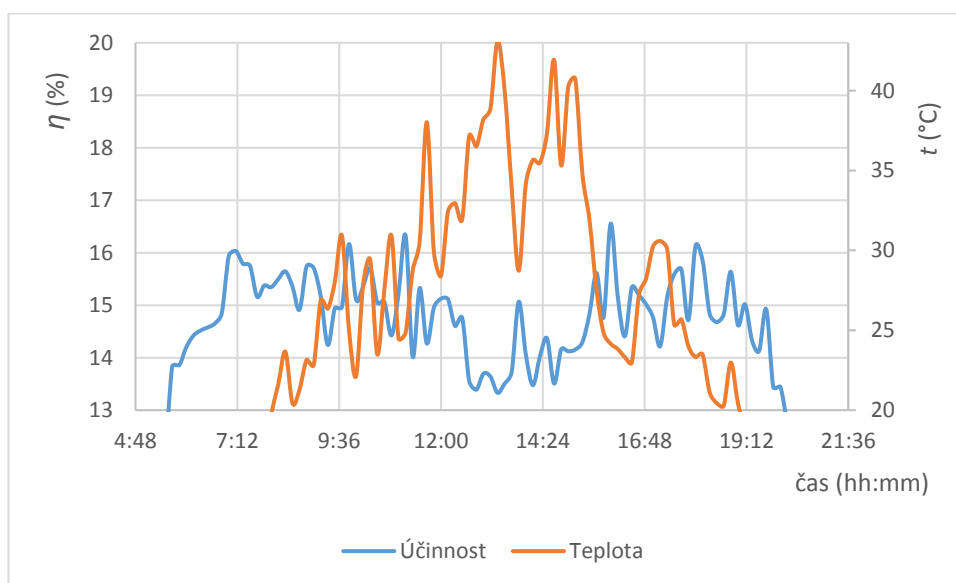
Teplota je dalším významným faktorem, který ovlivňuje správnou funkci střídače a panelů. Se zvyšující se teplotou klesá jednak výkon fotovoltaických panelů (typicky o cca  $0,4 \%$  na  $1^\circ \text{C}$ ) a začíná také "temperature derating" střídače. Temperature derating znamená omezování výstupního výkonu zařízení kvůli ochraně před poškozením a kvůli prodloužení životnosti komponent. Správná instalace

střídače je proto velmi důležitá. Instalujeme-li uvnitř budovy, pak do dobře odvětrávaných prostor (nedoporučuje se půda, prostory se špatnou cirkulací vzduchu apod.) a při venkovní instalaci nejlépe pod panely nebo do jiných stíněných prostor. [25]



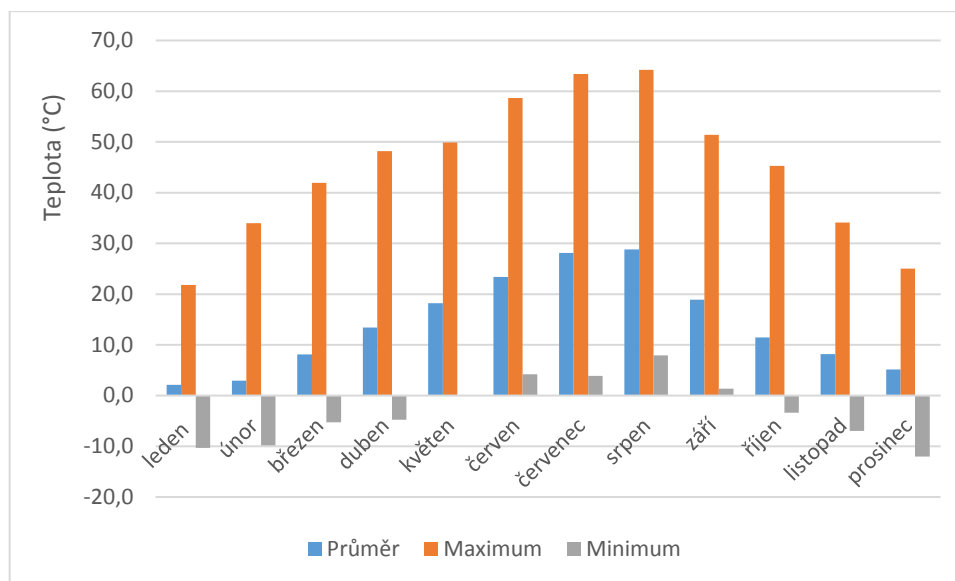
Obr. 19 Vliv teploty na charakteristiku panelu BT 3230T. [28]

S rostoucí teplotou výkon článku klesá. Čím je tedy teplota panelů nižší, tím více panely produkují energii. V grafu níže je patrný mírný pokles účinnosti ke třinácti procentům v poledne, kdy vzrostla teplota panelů. Okamžitá účinnost zde převyšovala i hodnotu 16 %.



Obr. 20 Záznam okamžitých hodnot teploty panelu a účinnosti (10. 7. 2015).

Na obrázku je srovnání teplot panelů za rok 2015. Nejvyšší maximální teplota panelu byla dosažena v srpnu, a to hodnoty 64,2 °C. Minimální teplota byla naměřena v prosinci -12 °C.



Obr. 21 Porovnání teploty panelu během roku 2015.

### 3.4. Vyrobená energie

V této kapitole je vyhodnocení výroby elektrické energie za celý rok 2015. Z grafu (Obr. 22) je vidět rozdíl mezi zimním obdobím, kdy je výroba nižší a naopak letním, kdy je patrný nárůst výroby. Výsledná měsíční hodnota je ovlivněna dopadající intenzitou slunečního záření, která je snižována případnou oblačností v konkrétní dny. Samozřejmě má na výslednou měsíční výrobu vliv i počet dnů v měsíci, kdy se většinou střídá 30 a 31 dní kromě února, který měl v tomto roce 28 dní.

Nejvíce energie bylo získáno za měsíc červenec, a to 55,1 MWh. Ale i v červnu a srpnu přesáhla dodaná energie 50 MWh. Nejnižší hodnota byla získána v lednu, to pouhých 5,7 MWh. Celková dodávka za rok 2015 činí 381,97 MWh. Celková energie dopadeného slunečního záření byla 2688,9 MWh. Z toho lze určit skutečnou účinnost, z jakou se podařilo využít sluneční energii. Jinými slovy je to hodnota, která nám udává hodnotu, kolik procent energie se podařilo reálně dodat do napájecí soustavy ze sluneční energie. Skutečná roční účinnost vychází 14,2 %, avšak během jednotlivých měsíců se lišila. [30]

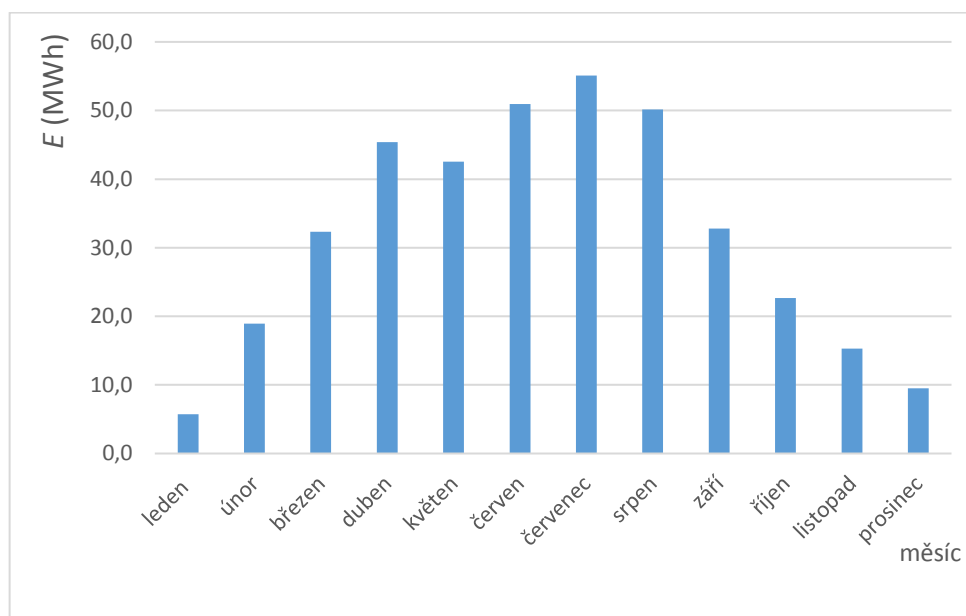
$$\eta = \frac{E_S}{E_G} = \frac{381,97}{2688,6} = 0,142 \quad (1)$$

$E_S$  – skutečně vyrobená energie (MWh)

$E_G$  – celkové množství dopadené energie na plochu panelů (MWh)

Tab. 2 Produkce energie (rok 2015).

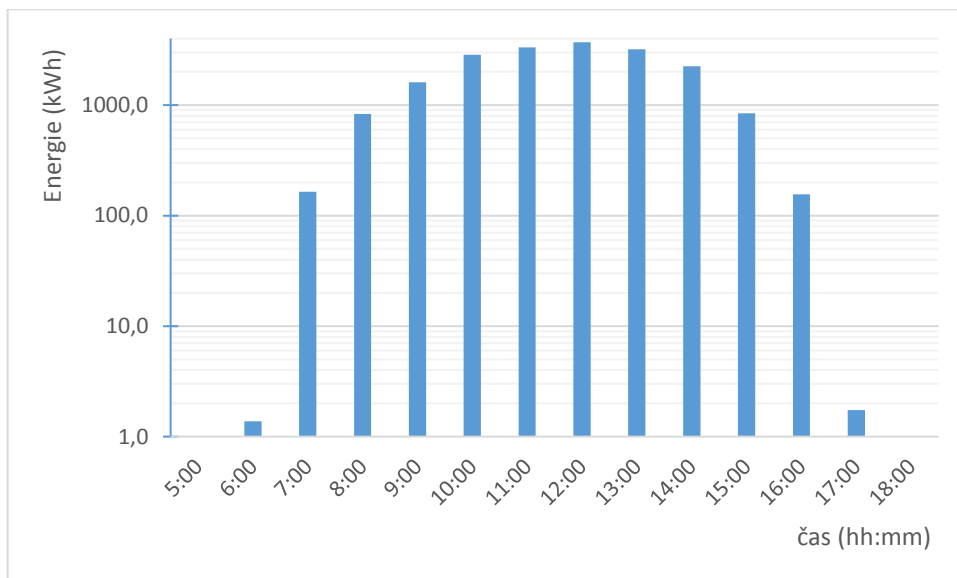
Měsíc	Výroba energie (MWh)	Denní průměr (kWh)	Účinnost (%)	Využitelná sluneční energie (MWh)
leden	5,7	185	9,3	62,0
únor	18,9	676	14,7	129,1
březen	32,3	1042	15,1	213,9
duben	45,4	1513	14,9	305,0
květen	42,6	1373	14,7	289,6
červen	50,9	1698	14,3	356,5
červenec	55,1	1777	14,0	393,9
srpen	50,2	1618	13,8	363,9
září	32,8	1093	14,8	221,9
říjen	22,7	731	14,4	157,0
listopad	15,3	510	13,7	111,8
prosinec	10,1	327	12	84,2
celkem 2015	381,97	-	14,2	2688,6



Obr. 22 Celková vyrobená energie za jednotlivé měsíce roku 2015.

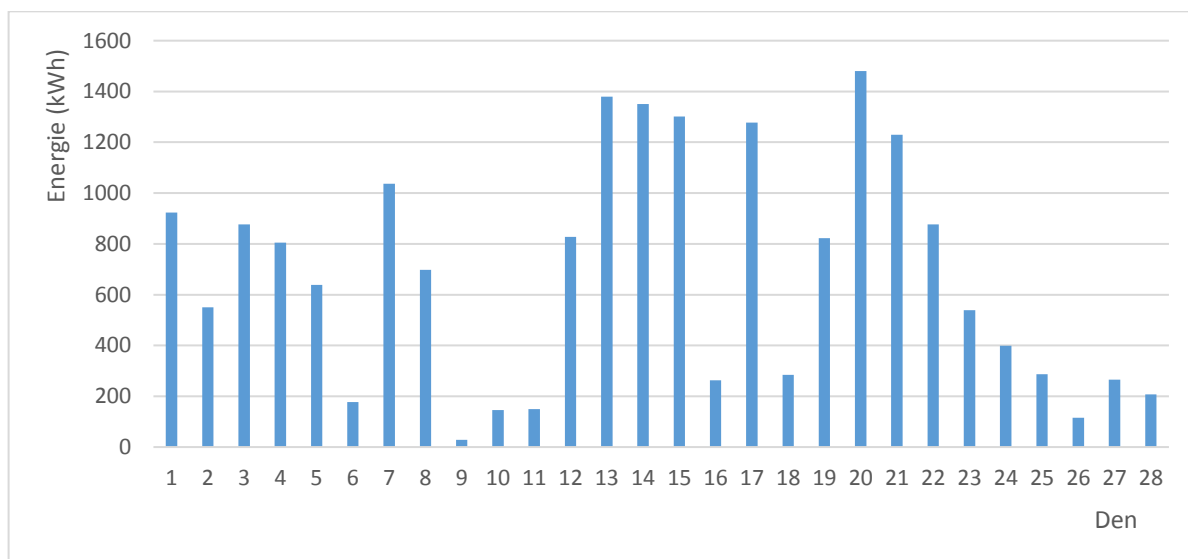
### 3.5. Denní a hodinová výroba

Na grafu níže jsou hodnoty energie podle hodin, mezi kterými byla energie během celého měsíce produkována. Analýza je zpracována pro měsíc únor. Celkově se podle tohoto grafu v tomto měsíci vyrobilo 18,9 MWh, přičemž největší příspěvek byl v poledních hodinách. Je zde použita logaritmická osa, neboť ranní a večerní hodnoty jsou velmi nízké a v grafu by nebyly patrné.



Obr. 23 Hodinový diagram - únor 2015.

Na obrázku č. 24 je sloupkový graf, který nám znázorňuje výrobu energie v jednotlivých dnech. Je vidět, že produkce se může velmi lišit i během každého dne. Nejvíce se vyrobilo 20. 2., a to 1480 kWh.

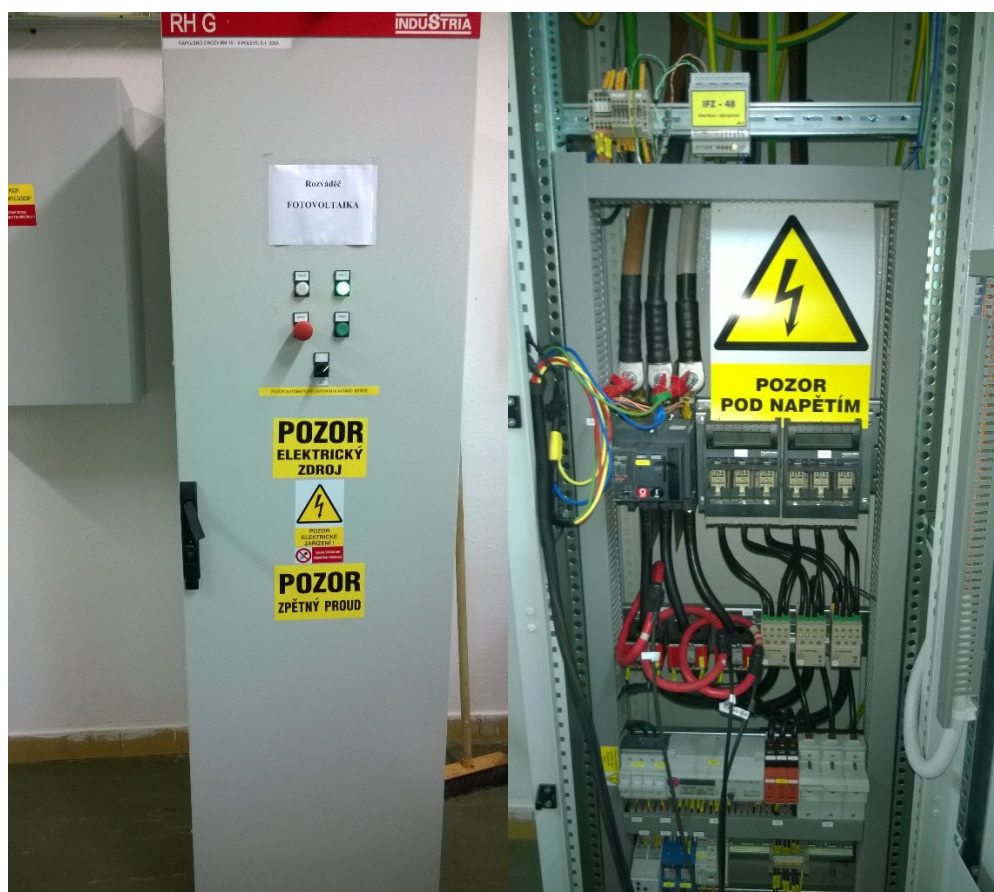


Obr. 24 Energie vyrobená v jednotlivé dny (únor 2015).

## 4. Analýza kvalitativních parametrů napětí FVE

Kvalitativní parametry napětí byly měřeny na FVE, která je umístěna na střeše VŠB. Konkrétně v rozváděči RH G v budově G, kde je instalována polovina výkonu z panelů na střeše budov E, F, G. Je zde napojeno 8 měničů, což dává špičkový instalovaný výkon 127 kWp. Druhá polovina je identicky vedena do přízemí budovy E (rozdávěč RH E). Třetím přípojným místem je budova J (RH J), kde je instalovaná zbylá část panelů (98 kWp).

Měření probíhalo v délce tři týdnů od 14. září 2016 do 5. října 2016. Pro měření dat byl použit modulární systém BK-ELCOM, konkrétně typ ENA500, který slouží pro monitoring a analýzu kvality elektřiny v souladu s platnými normami. Jeho koncepce je založena na bázi technologie virtuální instrumentace. Vzorkovací frekvence byla nastavena na 9600 Hz. Pro vyhodnocení dat byl použit software BK-Report, který umožňuje zpracování dat i na jiném PC než na původním zařízení, a také Excel 2013.



Obr. 25 Měření kvalitativních parametrů napětí.

### 4.1. Popis přístroje a softwaru

Základem analyzátoru je výkonný počítač a firmware. Je umístěn v robustní hliníkové skříni. Umožňuje měření na několika třífázových soustavách současně jediným přístrojem. Pro konfiguraci lze využít dálkové správy prostřednictvím Ethernetu s využitím notebooku nebo připojení potřebných periférií ke standardním PC rozhraním (monitor, klávesnice a myš). Základní varianta přístroje



obsahuje tyto moduly: FFT analyzátor harmonických, osciloskop, vektorskop, monitor výkonů a energií, měřič blikání (flickr) a monitor napětí.

Měřicí část BK-Measure představuje zvolenou HW platformu na bázi PC s šestnáctibitovou měřicí kartou a firmware obsahující sadu modulů pro vyhodnocování elektrických veličin.

Analýza naměřených dat části BK-Report slouží pro zobrazení, porovnání, statistické zpracování, export dat a tisk protokolů. Tento modul umožňuje analýzu naměřených dat ve tvaru protokolu z měření, který je možno vytisknout na tiskárně nebo uložit do souboru ve formátu bmp nebo html, alternativně umožňuje tento modul export naměřených dat do textových souborů. Podmínkou správné činnosti tohoto modulu je korektní instalace tohoto softwarového modulu. První potřebnou vrstvou softwaru je LVRunTime modul odpovídající verzi vývojového prostředí LabVIEW, dále je to instalace speciálního prvku pro prohlídku stromové struktury dat BKTreeView a konečně je potřebná vlastní aplikace a datové podadresáře odpovídající struktury. Grafické rozhraní hlavního panelu obsahuje v levé horní části stromovou strukturu výběrového prvku pro výběr uživatele, projektu a měření. V levé spodní části jsou informace o vybraném měření

Centrální on-line správa BK-Remote slouží pro dálkovou správu, monitoring a postprocesing současně na několika přístrojích. BK-Web slouží pro zobrazení porovnání a statistické zpracování dat uložených na centrálním databázovém serveru. Data z jednotlivých analyzátorů jsou ukládána do SQL databáze a publikována do sítě Internet. [23]

## 4.2. Kvalita napětí

Kvalita napětí je definována charakteristikami napětí v daném bodě elektrizační soustavy, porovnávány s mezními příp. informativními velikostmi referenčních technických parametrů. Pro charakteristiky napětí platí pro odběrná místa zaručované hodnoty, měřicí intervaly, doby pozorování a mezní pravděpodobnosti splnění stanovených limitů.

Parametry kvality napětí jsou vyhodnocovány podle požadavků PPDS – přílohy 4, jejíž nejnovější verze byla vydána roku 2016. Zdroj pro tyto pravidla vychází z normy ČSN EN 50610 ed.3 [26], z níž tato práce vychází. Přičemž je nutno podotknout, že k normě byla vydána ještě ZMĚNA A1 [27], kdy nejzazší datum zrušení národních norem, které jsou z dokumentem v rozporu je 30. 9. 2017. Tato norma může být celá nebo její části nahrazeny smlouvou mezi jednotlivým uživatelem a provozovatelem distribuční sítě.

Předmětem normy je definování, popis a specifikace charakteristik napájecího napětí týkající se:

- a) kmitočtu;
- b) velikosti;
- c) tvaru vlny;
- d) symetrie třífázových napětí.

Tyto charakteristiky za normálního provozu napájecího systému kolísají vlivem změn zatížení, rušením vyvolaným určitým zařízením a výskytem poruch, které jsou většinou způsobeny vnějšími vlivy. Některé z těchto jevů ovlivňujících napětí jsou obzvláště nepředvídatelné, což ztěžuje udání závazných hodnot pro odpovídající charakteristiky. Hodnoty udané v této normě pro charakteristiky napětí, jako jsou např. poklesy a přerušení napětí je proto zapotřebí podle toho interpretovat.

Tato norma se nevztahuje na mimořádné provozní podmínky, zahrnující následující:

- a) dočasné zapojení sítě umožňující napájení uživatelů za podmínek vyvolaných poruchou, nebo během údržbových a výstavbových prací nebo s cílem minimalizace rozsahu a trvání ztráty napájení;
- b) v případě, že instalace nebo zařízení uživatele nevyhovuje příslušným normám nebo technickým připojovacím podmínkám pro uživatele (vydaným buď veřejnou zprávou anebo provozovatelem distribuční sítě), které obsahují meze pro rušení šířená vedeními.
- c) ve výjimečných situacích, na které nemá dodavatel elektřiny vliv (mimořádné povětrnostní podmínky a další přírodní katastrofy, cizí zavinění, nařízení úřadů, stávky v rámci zákona, vyšší moc, nedostatek výkonu zaviněný vnějšími okolnostmi).

Charakteristiky napětí udané v této normě nejsou určeny jako hladiny elektromagnetické kompatibility ani pro uživatele jako meze rušení šířených po veřejných elektrických distribučních sítích. Nejsou rovněž určeny pro přímé užití při definování požadavků ve výrobových normách a normách pro instalace.

Výpočet percentilních hodnot se v BK-Report provádí podle standardem stanovené normativní meze (limit kolik procent z vyhodnocených intervalů nesmí přesáhnout limity veličiny). Pokud je pro danou veličinu zvolena normativní mez např. 95 %, je třeba, aby 5 % nejhorších případů bylo vyloučeno. Z takto redukovaného souboru naměřených dat je zobrazena minimální a maximální hodnota, což je 95 % Min/Max. Dle limitů pro danou veličinu mohou nastat tyto tři případy pro vyloučení nejhorších hodnot:

Pokud má veličina pouze horní limit, odebere se 5 % nejvyšších hodnot z měření a zobrazí se pouze maximum ze zbylých jako 95 % Max.

Pokud má veličina horní i dolní limit a tyto limity jsou souměrné (např. 90 % - 110 %), odebere se 5 % nejvzdálenějších vzorků od referenční hodnoty. Ze zbytku se zobrazí minimum a maximum jako 95 % Min / Max.

Pokud má veličina horní i dolní limit a tyto limity nejsou souměrné (např. 90 % - 106 %), odebere se 5 % nejvzdálenějších vzorků od referenční hodnoty, přičemž jsou při odebrání vzorků zohledněny limitní hodnoty. Ze zbylých hodnot se zobrazí minimum a maximum jako 95 % Min/Max.

### 4.3. Frekvence

Frekvenci napájecího napětí definujeme jako kmitočet opakování základní vlny napájecího napětí měřený po dobu daného časového intervalu. Jmenovitá frekvence napájecího napětí je v ČR 50 Hz. Za normálních provozních podmínek musí být střední hodnota kmitočtu základní harmonické, měřená v intervalu po 10 s v následujících mezích:

Limit 1 – vyhodnocuje splnění maximálního kolísání frekvence v rozsahu 50 Hz  $\pm$  1 % (tj. 49,5 až 50,5 Hz) během 99,5 % doby trvání jednoho roku. Tato hodnota je pouze informativní vzhledem ke třítydennímu měření.

Limit 2 – vyhodnocuje splnění maximálního kolísání frekvence v rozsahu -6 % až +4 % (tj. 47 až 52 Hz) po 100 % měřeného času.

Tab. 3 Limity pro měření frekvence.

-	Normativní mez (%)	Interval měření (s)	Dolní limit (%)	Horní limit (%)	Dolní limit (Hz)	Horní limit (Hz)
<b>Limit 1</b>	99,5	10	99	101	49,5	50,5
<b>Limit 2</b>	100	10	94	104	47	52

Tab. 4 Vyhodnocení frekvence.

-	Min. hodnota (Hz)	Max. hodnota (Hz)	Mimo limit (%)	Vyhovuje (Ano/Ne)
<b>Limit 1</b>	49,98	50,09	0	Ano
<b>Limit 2</b>	49,98	50,11	0	Ano

Frekvence vyhovuje zadaným požadavkům pro oba limity. Minimum hodnoty dosáhlo hodnoty 49,98 Hz, maximální naměřená hodnota je 50,11 Hz.

#### 4.4. Velikost a odchylky napájecího napětí

Napájecí napětí: efektivní hodnota napětí v dané době v předávacím místě, měřená po dobu daného intervalu. Měření napětí se musí provádět po dobu nejméně jednoho týdne. Vyhodnocuje se střední desetiminutová efektivní hodnota na všech jednotlivých fázích. Jako referenční hladina napětí se uvažuje napětí 230 V.

Za normálních provozních podmínek musí být během každého týdne 95 % průměrných efektivních hodnot napájecího napětí v měřicích intervalech 10 minut v rozsahu  $\pm 10$  % (Limit 1) a všechny průměrné efektivní hodnoty napájecího v měřicích intervalech 10 minut musí být v rozsahu  $+10$  %/ $-15$  % (Limit 2).

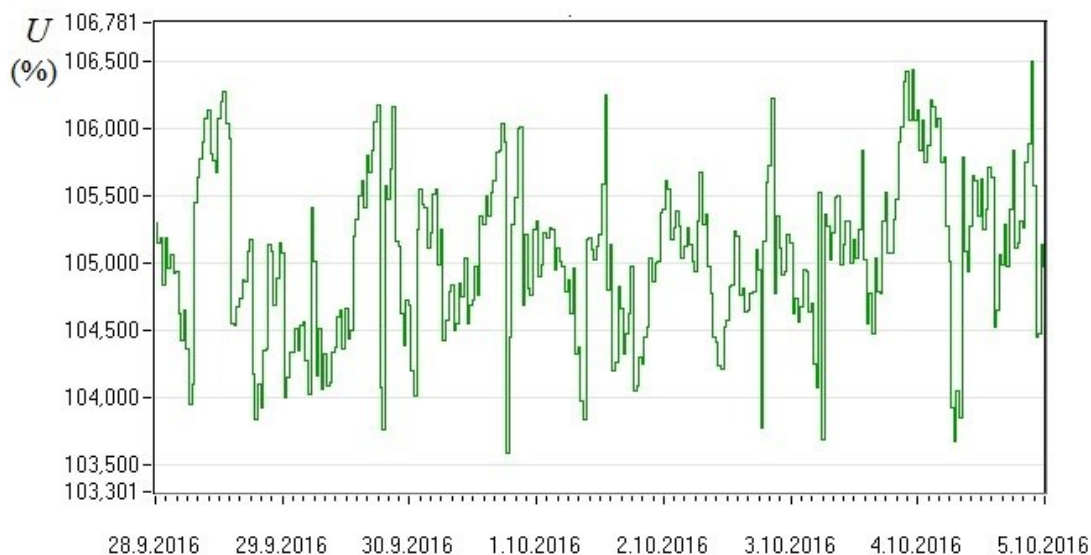
Tab. 5 Limity pro vyhodnocení napětí.

-	Normativní mez (%)	Interval měření (min)	Dolní limit (%)	Horní limit (%)	Dolní limit (V)	Horní limit (V)
<b>Limit 1</b>	95	10	90	110	207	253
<b>Limit 2</b>	100	10	85	110	195,5	253

Tab. 6 Získané hodnoty napětí na jednotlivých fázích.

-	$L_1$ Minimum (V)	$L_2$ Minimum (V)	$L_3$ Minimum (V)	$L_1$ Maximum (V)	$L_2$ Maximum (V)	$L_3$ Maximum (V)	Vyhovuje (Ano/Ne)
<b>Limit 1</b>	238,23	238,12	238,26	244,56	244,77	244,62	Ano
<b>Limit 2</b>	238,23	238,12	238,26	245,79	246,09	246,07	Ano

Napětí vyhovuje zadaným kritériím. Maximální hodnota napětí dosáhla hodnoty 246,09 V na druhé fázi. Minimální hodnota byla naměřena na první fázi, a to 238,23 V. Napětí pro oba limity se tedy pohybuje v předepsaných mezích.



Obr. 26 Průběh napětí na fázi  $L_3$  (%).

## 4.5. Krátkodobé poklesy, zvýšení a přerušení napětí

Podpětím je definován pokles jmenovitého napětí pod 90 %. Přepětím pak vzrůst jmenovitého napětí nad 110 %. Jak je patrné z tabulky, během měření na rozvaděči došlo k celkem dvěma událostem, poklesu napětí pod 90 % na fázích  $L_1$  a  $L_3$  po dobu 0,05 s. Šlo ovšem o pokles v nočních hodinách, kdy elektrárna nepracuje.

Tab. 7 Vyhodnocení mimořádných událostí.

Datum	Čas	Fáze	Minimum (V)	Doba trvání (s)
<b>3. 10. 2016</b>	2:54:35	1	199,2	0,05
<b>3. 10. 2016</b>	2:54:35	3	198,3	0,05

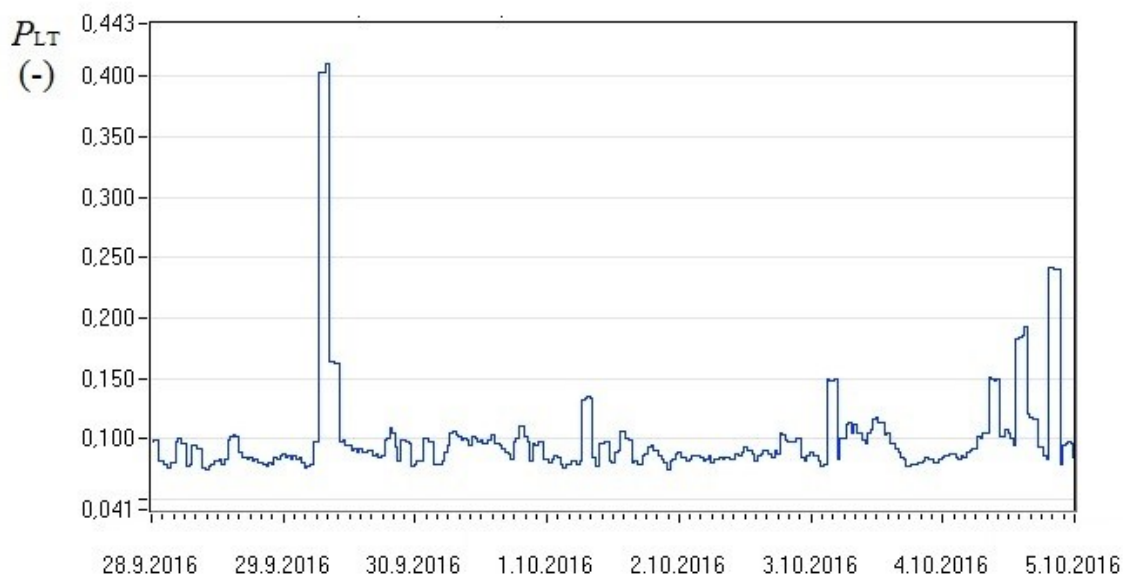
## 4.6. Dlouhodobý flickr

Flickr je jev, způsobený kolísáním napětí, který se projevuje změnou zrakového vnímání u člověka. Tyto rušivé změny jsou totiž vyvolány časovými změnami světelného toku, tj. blikáním svítidel. Limit 1 – dlouhodobá míra vjemu flickru  $P_{LT}$ . Je to dvouhodinová hodnota míry vjemu blikání  $P_{LT}$  na všech jednotlivých fázích. Hodnota musí být nejvýše rovna jedné, tj.  $P_{LT} \leq 1$  během 95 % času. Měření se provádí po dobu minimálně jednoho týdne. Je vypočítán z dvanácti hodnot krátkodobé míry flickru. Limit 2 – krátkodobá míra vjemu flickru  $P_{ST}$ . Je to desetiminutová hodnota míry vjemu blikání  $P_{LT}$  na všech jednotlivých fázích. Limit je stanoven pouze pro dlouhodobou míru flickru, která se pro popis napájecího napětí považuje za důležitější. Pokud nevyhovuje, lze přistoupit i k vyhodnocení  $P_{ST} \leq 1,2$ .

Tab. 8 Hodnoty flickru.

Flickr	Normativní mez (%)	Horní limit (-)	$L_1$ (-)	$L_2$ (-)	$L_3$ (-)	Vyhovuje (Ano/Ne)
$P_{LT}$	95	1	0,16	0,15	0,15	Ano
$P_{ST}$	95	1,2	0,14	0,13	0,14	Ano

Hodnota dlouhodobého flickru je nejvyšší na první fázi (0,16). Splňuje tedy požadavky PPDS. Krátkodobý flickr dosahuje hodnoty 0,14 na fázi  $L_1$  a  $L_3$ .



Obr. 27 Průběh dlouhodobého flickru na fázi  $L_2$ .

## 4.7. Nesymetrie napětí

Nesymetrie napětí v daném časovém úseku je definována za použití metody souměrných složek velikostí poměru zpětné složky napětí k sousledné složce, vyjádřené v procentech.

*Sousledná soustava:* jednotlivá fázová napětí mají stejný sled fází jako skutečná nesymetrická soustava a jsou souslednými souměrnými složkami fázových napětí nesymetrické soustavy.

*Zpětná soustava:* jednotlivá fázová napětí mají opačný sled fází než skutečná nesymetrická soustava a jsou zpětnými souměrnými složkami fázových napětí nesymetrické soustavy.

*Nulová soustava:* jednotlivá fázová napětí mají nulový fázový posun mezi sebou a jsou nulovými souměrnými složkami fázových napětí nesymetrické soustavy. [29]

Za normálních provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot zpětné složky (základní) napájecího napětí v rozsahu 0 až 2 % sousledné složky. V některých oblastech může být nesymetrie ve trojfázových předávacích místech do 3 %. V normě ČSN EN 50610 ed.3 jsou uvedeny hodnoty jen pro zpětnou složku, protože tato složka je rozhodující pro možné rušení spotřebičů připojených do sítě.

Tab. 9 Vyhodnocení nesymetrie napětí.

-	Horní limit (%)	Normativní mez (%)	Interval měření (min)	Maximum (%)	Mimo limit (%)	Vyhovuje (Ano/Ne)
Zpětná složka	2	95	10	0,3	0	Ano

Nesymetrie napětí zpětné složky napájecího napětí vyhovuje zadaným podmínkám. Při měření v desetiminutových intervalech se hodnota zpětné složky pohybovala od 0 až po 0,3 %.

## 4.8. Úroveň napětí signálu HDO

Veřejné sítě mohou být využívány PDS k přenosu informací. K tomu slouží zpravidla systémy HDO. HDO je soubor technických prostředků (jako např. vysílače, přijímače, centrální automatika, přenosové cesty apod.) umožňujících vysílat povely nebo signály za účelem zapínání nebo vypínání spotřebičů, přepínání tarifů.

Střední hodnota napětí signálů měřená po dobu tří sekund musí být po dobu 99 % dne menší nebo rovna 9 %.

Tab. 10 Naměřená úroveň signálu HDO (1. 9. 2015).

HDO signál (Hz)	Horní mez (%)	Normativní mez (%)	Interval (s)	$L_1$ (%)	$L_2$ (%)	$L_3$ (%)	Vyhovuje (Ano/Ne)
$f = 216,66$	9	99	3	1,82	1,73	1,75	Ano

## 4.9. Harmonická napětí

Harmonické napětí je definováno jako sinusové napětí s kmitočtem rovným celistvému násobku základního kmitočtu napájecího napětí (např. 3. harmonická má  $f = 150$  Hz). Za normálních provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot každého jednotlivého harmonického napětí menší nebo rovno hodnotě uvedené níže v tabulce. U jednotlivých harmonických mohou rezonance způsobit napětí vyšší. Jako druhou variantu lze použít také denní vyhodnocování ve třisekundových intervalech v průběhu minimálně jednoho týdne.

Tab. 11 Vyhodnocení harmonických napětí do řádu 25.

Řád harm.	Normativní mez (%)	Horní limit (%)	$L_1$ (%)	$L_2$ (%)	$L_3$ (%)	Vyhovuje (Ano/Ne)
2	95	2	0,06	0,06	0,07	Ano
3	95	5	0,77	1,06	0,51	Ano
4	95	1	0,12	0,12	0,12	Ano
5	95	6	1,67	1,58	1,43	Ano
6	95	0,5	0,04	0,04	0,04	Ano
7	95	5	0,86	0,73	0,77	Ano
8	95	0,5	0,03	0,03	0,03	Ano
9	95	1,5	0,92	0,78	0,74	Ano
10	95	0,5	0,03	0,02	0,03	Ano
11	95	3,5	0,69	0,75	0,77	Ano
12	95	0,5	0,02	0,02	0,03	Ano
13	95	3	0,56	0,56	0,68	Ano
14	95	0,5	0,02	0,02	0,02	Ano
15	95	0,5	0,13	0,2	0,14	Ano
16	95	0,5	0,02	0,02	0,02	Ano
17	95	2	0,3	0,29	0,23	Ano
18	95	0,5	0,01	0,02	0,01	Ano
19	95	1,5	0,17	0,24	0,22	Ano
20	95	0,5	0,01	0,01	0,01	Ano
21	95	0,5	0,07	0,07	0,07	Ano
22	95	0,5	0,01	0,01	0,01	Ano
23	95	1,5	0,05	0,05	0,05	Ano
24	95	0,5	0,01	0,01	0,01	Ano
25	95	1,5	0,04	0,05	0,04	Ano

### 4.9.1. Celkový činitel harmonického zkreslení

Celkový činitel harmonického zkreslení THD napájecího napětí (zahrnující všechny harmonické až do řádu 40) musí být během týdne menší nebo rovný 8 %. Omezení do řádu 40 je dohodnuté. V závislosti na typu použitých měřicích transformátorů napětí, nemusí být měření vyšších harmonických spolehlivé. Hodnoty pro harmonické vyšších řádů než 25 se neuvažují, jelikož jsou obvykle malé, avšak vlivem rezonančních účinků obtížně předvídatelné.

Tab. 12 Vyhodnocení THDu.

-	Horní limit (%)	Normativní mez (%)	Interval měření (min)	$L_1$ (%)	$L_2$ (%)	$L_3$ (%)	Vyhovuje (Ano/Ne)
Limit 1	8	95	10	2,19	2,16	1,92	Ano



Obr. 28 Průběh THDu (fáze  $L_1$ )

### 4.10. Meziharmonické napětí

Meziharmonické napětí - sinusové napětí s kmitočtem ležícím mezi harmonickými, tzn. kmitočet není celistvým násobkem základního kmitočtu síťového napětí. S rozvojem měničů kmitočtu a podobných zařízení hladina meziharmonických narůstá. Hodnoty se v současné době studují a získávají se další zkušenosti. V určitých případech způsobují meziharmonické i nízkých úrovní flickr nebo rušení v systémech hromadného dálkového ovládání.



## Závěr

Tato bakalářská práce řeší problematiku fotovoltaických elektráren jak z teoretického, tak i praktického pohledu. V první části se zabývala vývojem solárních technologií, kde základním materiálem pro články je křemík. Snahou vývojářů je nejen úspora materiálu, ale hlavně přeměnit co největší část slunečního záření na elektrickou energii, proto se začaly používat i jiné materiály a technologie jako je použití více vrstev. Účinnost FV článků se s postupným vývojem stále zvyšuje a ve snaze použití jiných materiálů než křemíku se zlepšují možnosti využití.

Z hlediska pravidel pro připojování nových elektráren do distribuční soustavy se fotovoltaické elektrárny téměř neliší od dalších technologií. Musí splňovat většinu kritérií jako ostatní elektrárny. Jedná se však o obnovitelný zdroj, a proto zde jistě odlišnosti jsou. FVE mohou být zproštěny povinnosti primární regulace. U fotočláňkových zařízení připojovaných do sítí NN je omezen výkon při jednofázovém připojení v jednom přípojném bodě na 3,7 kVA. Maximální výkon na výstupu střídače (maximální desetiminutová střední hodnota) musí být omezen na nejvýše 110 % jmenovitého výkonu.

Střídače smějí být spínány pouze tehdy, když je jejich střídavá strana bez napětí. Podle schopností konvenčních výrobních zařízení při vzniku náhlé výkonové nerovnováhy v důsledku rozdělení sítí, vytvoření ostrovů a k zajištění obnovy provozu, musí solární elektrárny užívat takové řídicí a regulační charakteristiky, které odpovídají současnému stavu techniky.

Z analýzy dat elektrárny ve třetí části vyplývá, že množství získané energie z FVE je závislé na intenzitě slunečního záření, kterou snižuje případná oblačnost. V letních slunečných měsících lze získat více energie než v zimních. Dalším kritériem je také účinnost panelů, která se s rostoucí teplotou panelu snižuje. Zde toho vyplývá hlavní směr, jak zvýšit produkci fotovoltaických zařízení, a to je zvýšení účinnosti panelů tak, abychom mohli lépe využít energii ze Slunce. Z naměřených hodnot je patrné, že v nočních hodinách elektrárna nedodává energii, což je hlavní nevýhoda těchto zařízení. Elektrárna v roce 2015 vyprodukovala 381,97 MWh. Skutečná roční účinnost dosáhla 14,2 %.

Kvalitativní parametry napětí v připojovacím bodě nevykazovaly během měření hodnoty přesahující normou požadované meze. Došlo pouze ke krátkodobému poklesu na dvou fázích současně po dobu 0,05 s, ovšem v nočních hodinách, kdy elektrárna nepracuje. Požadavky na kvalitu napětí výroby vycházejí z PPDS, přičemž základem je norma ČSN EN 50610 ed. 3. Tato norma může být však celá nebo její části nahrazeny smlouvou mezi jednotlivým uživatelem a provozovatelem distribuční sítě.

## Literatura

- [1] Murtinger K., Beranovský J., Tomeš M.: Fotovoltaika. Elektřina ze Slunce. Brno: ERA, 2007. ISBN 978-80-7366-100-7
- [2] Mastný P., Drápela J., Mišák S., Macháček J., Ptáček M., Radil L., Bartošík T., Pavelka T.: Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [3] Mišák S., Prokop L. a kol.: Provozní vlastnosti obnovitelných zdrojů. Ostrava: Asociace technických diagnostiků ČR, 2014. ISBN 978-80-260-6184-7
- [4] Haselhuhn R.: Fotovoltaika Budovy jako zdroj proudu. Ostrava: BEN – technická literatura, 2010. ISBN 978-80-86167-33-6
- [5] Bechník B.: Stručná historie fotovoltaiky [online]. Praha: TZB-info.cz, 2014 [cit. 2016-10-20]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11652-strucna-historie-fotovoltaiky>
- [6] Millikan R. A.: A Direct Photoelectric Determination of Planck's "h" [online]. Chicago: University of Chicago, 1916. Dostupné z: <http://journals.aps.org/pr/pdf/10.1103/PhysRev.7.355>
- [7] Paul CH.: What Do Mir's Solar Arrays Predict for ISS Arrays? Part 2: The Mir Cooperative Solar Array [online]. Austin: Americaspace, 2012 [cit. 2016-10-20]. Dostupné z: <http://www.americaspace.com/?p=29106>
- [8] Solární panely.cz [online]. [cit. 2016-10-23]. Dostupné z: <http://solarni-panely.cz/katalog-produktu/solarni-akumulatory/solarni-gelovy-akumulator-200ah>
- [9] Solární panely.cz [online]. [cit. 2016-10-23]. Dostupné z: <http://solarni-panely.cz/katalog-produktu/solarni-akumulatory/solarni-trakcni-kyselinovy-akumulator-1000ah>
- [10] Škorpík J.: Sluneční záření jako zdroj energie [online]. 2015 [cit. 2016-11-23]. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/slunecni-zareni-jako-zdroj-energie.html>
- [11] Jurajda P.: Ochranné a spínací přístroje FV zdrojů [online]. 2010 [cit. 2016-10-19]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40463.pdf>
- [12] Vlastní FVE [online]. Ostrava: [cit. 2016-10-25]. Dostupné z: <http://vec.vsb.cz/pracoviste/monitoring-obnovitelnych-zdroju/vlastni-fve.html>
- [13] Solární (fotovoltaické) články [online]. [cit. 2016-11-28]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>
- [14] Obecné schéma zapojení fotovoltaického zdroje [online]. [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: <http://www.oez.cz/aktuality/obecne-schema-zapojeni-fotovoltaickeho-zdroje>
- [15] Solární kabel [online]. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <http://www.allkabel.eu/kabely-pro-fotovoltaicka-zarizeni-solarni-kabel/>
- [16] Slámová S.: Kabely a příslušenství pro fotovoltaické elektrárny [online]. Helukabel CZ, 2009 [cit. 2016-11-10]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39402.pdf>
- [17] Kolařík M.: Fotovoltaický kabel 12AWG. Ostrovní-elektrárny.cz [online]. [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: [http://www.ostrovni-elektrarny.cz/index.php?category=elektromaterial&detail=ODAwMDQy&detail\\_name=fotovoltaicky-kabel-12awg-4mm2-cerny](http://www.ostrovni-elektrarny.cz/index.php?category=elektromaterial&detail=ODAwMDQy&detail_name=fotovoltaicky-kabel-12awg-4mm2-cerny)
- [18] E.ON Distribuce [online]. [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/o-nas/o-skupine-eon/eon-v-ceske-republice/eon-distribuce-a-s>
- [19] Galetka M.: Přenosová soustava elektrické energie [online]. Energetika.tzb-info, 2016, [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/13676-prenosova-soustava-elektricke-energie>

- [20] Provozovatelé distribučních soustav: Pravidla provozování distribučních soustav – příloha 4 [online]. Praha, 2016. Dostupné z: <https://www.predistribuce.cz/Files/legislativa/ppds-priloha-4/>
- [22] Vidim J.: Monitorování FVE podle normy ČSN EN 61724 [online]. TZB-info, 2014, [cit. 2016-11-11].  
Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11294-monitorovani-fve-podle-normy-csn-en-61724>
- [23] Sdružený analyzátor sítí BK-ELCOM v provedení ENA500 [online]. Elcom [cit. 2016-11-11].  
Dostupné z:  
[http://elcom.cz/cz/ke-stazeni/merici-systemy/merici-systemy/system-monitoringu-a-analyzy-kvality-elekriny-bk-elcom-katalogove-listy/detail/download\\_bk-elcom\\_ENA500\\_CZ\\_low.pdf](http://elcom.cz/cz/ke-stazeni/merici-systemy/merici-systemy/system-monitoringu-a-analyzy-kvality-elekriny-bk-elcom-katalogove-listy/detail/download_bk-elcom_ENA500_CZ_low.pdf)
- [24] Provozovatelé distribučních soustav: Pravidla provozování distribučních soustav – příloha 3 [online]. Praha, 2011. Dostupné z: [http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/2011/ppds-2011\\_priloha-3.pdf](http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/2011/ppds-2011_priloha-3.pdf)
- [25] Březina F.: Faktory ovlivňující výnos fotovoltaických střídačů [online]. TZB-info, 2010, [cit. 2017-2-2]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/6267-faktory-ovlivnujici-vynos-fotovoltaickych-stridacu>
- [26] ČSN EN 50160. Česká technická norma: Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí. ed. 3. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [27] ČSN EN 50160. Česká technická norma: Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí. ed. 3., změna A1 2015. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [28] Solar Electric Supply [online]. BP Solar [cit. 2016-12-12]. Dostupné z:  
[www.solarelectricsupply.com/pdf/BP/BP3230T.pdf](http://www.solarelectricsupply.com/pdf/BP/BP3230T.pdf)
- [29] Elektromagnetická kompatibilita [online]. VŠB Ostrava [cit. 2016-12-10]. Dostupné z:  
[http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/FEI/EMC/sylaby/11\\_Kvalita\\_napeti.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/FEI/EMC/sylaby/11_Kvalita_napeti.pdf)
- [30] Jakubes J: Vyhodnocení provozu a benchmarking fotovoltaických elektráren [online]. ENA s. r. o. [cit. 2016-12-12] 2012. Dostupné z:  
[www.solartec.cz/system/resources/.../vyhodnoceni%20provozu%20fve.pdf](http://www.solartec.cz/system/resources/.../vyhodnoceni%20provozu%20fve.pdf)